



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO.

TEMA:

“ESTUDIO DE PARÁMETROS EN EL SISTEMA DE CALENTAMIENTO ELÉCTRICO POR CONVECCIÓN DE LÁMINA DE POLIMETILMETACRILATO (PMMA) ACRILUX DE HASTA 5mm DE ESPESOR, Y SU INFLUENCIA EN LA CALIDAD DEL DOBLADO, EN LA PRODUCCIÓN DE ARTÍCULOS PUBLICITARIOS EN LA EMPRESA MORCE DISEÑO Y PUBLICIDAD”.

AUTOR: Egdo. David Sebastián Peñaloza Mayorga.

TUTOR: Ing. Luis Escobar L. Mg.

AMBATO – ECUADOR

2014

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación, con el tema “ESTUDIO DE PARÁMETROS EN EL SISTEMA DE CALENTAMIENTO ELÉCTRICO POR CONVECCIÓN DE LÁMINA DE POLIMETILMETACRILATO (PMMA) ACRILUX DE HASTA 5mm DE ESPESOR, Y SU INFLUENCIA EN LA CALIDAD DEL DOBLADO, EN LA PRODUCCIÓN DE ARTÍCULOS PUBLICITARIOS EN LA EMPRESA MORCE DISEÑO Y PUBLICIDAD”, desarrollado por el estudiante David Sebastián Peñaloza Mayorga, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, considero informar que se reúnen los requisitos suficientes para que sea sometido a la evaluación del Tribunal Examinador.

Ambato. Julio del 2014

TUTOR

.....

Ing. Luis Escobar L. Mg.

AUTORÍA DEL TRABAJO DE GRADO

Yo, David S. Peñaloza M., declaro que los criterios expresados en la presente investigación bajo el planteamiento: “ESTUDIO DE PARÁMETROS EN EL SISTEMA DE CALENTAMIENTO ELÉCTRICO POR CONVECCIÓN DE LÁMINA DE POLIMETILMETACRILATO (PMMA) ACRILUX DE HASTA 5mm DE ESPESOR, Y SU INFLUENCIA EN LA CALIDAD DEL DOBLADO, EN LA PRODUCCIÓN DE ARTÍCULOS PUBLICITARIOS EN LA EMPRESA MORCE DISEÑO Y PUBLICIDAD”, así como las ideas, análisis, conclusiones y propuesta son auténticas y de mi exclusiva responsabilidad como autor del presente proyecto de investigación de grado.

AUTOR

.....

Egdo. David S. Peñaloza M.

C.I.: 180400580-7

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a la Empresa Morce D&P, por su apoyo incondicional, con la satisfacción de haber cumplido con los objetivos planteados.

En especial dedico este trabajo a todas las personas que dudaron, cuestionaron, o quisieron truncar mi anhelo de progresar.

AGRADECIMIENTO

De manera especial agradezco a Alexis Bracero, amigo y principal motivador en el desarrollo de mi carrera profesional, de igual forma a su familia, Dr. Wellington Bracero y Sra. Alicia Cevallos, *“Sin su generosa ayuda, no hubiese sido posible alcanzar esta meta”*.

Al Ing. Luis Escobar, por compartir sus conocimientos, críticas y consejos, para lograr culminar la presente tesis.

A la Universidad Técnica de Ambato, maestros, familia y amigos muchas gracias.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO.

RESUMEN EJECUTIVO.....	XXV
ABSTRACT.....	XXVI
CAPÍTULO I.....	1
EL PROBLEMA.....	1
1.1 TEMA.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2.1 Contextualización.....	1
1.2.2 Análisis crítico.....	3
1.2.3 Prognosis.....	3
1.2.4 Formulación del problema.....	4
1.2.5 Preguntas directrices.....	4
1.2.6 Delimitación.....	4
1.2.6.1 Espacial.....	4
1.2.6.2 Temporal.....	5
1.2.6.3 De contenido.....	5
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	5
1.4 OBJETIVOS.....	7
1.4.1 General.....	7
1.4.2 Específicos.....	7

2.3.13	Características del aire atmosférico.	26
2.3.13.1	Humedad absoluta o específica (ω).	26
2.3.13.2	Humedad relativa (ϕ o <i>HR</i>).	26
2.3.13.3	Presión.	26
2.3.13.4	Entalpía del aire.	26
2.3.14	Calidad.	27
2.3.15	Planificación de la calidad.	28
2.3.16	Control de la calidad.	28
2.3.17	Polimetilmetacrilato (PMMA).	29
2.3.18	PMMA isotáctico, sindiotáctico o atáctico.	30
2.3.19	Artículos publicitarios producidos en lámina acrílica.	30
2.3.20	Sistemas de calentamiento en placas de gran tamaño.	32
2.3.20.1	Calentamiento por contacto.	32
2.3.20.2	Calentamiento por inmersión.	32
2.3.20.3	Calentamiento por convección.	32
2.3.20.4	Con soporte de desbaste o ranurado.	32
2.3.21	Defectología en el doblado de la lámina acrílica.	33
2.4	HIPÓTESIS.	34
2.5	SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS.	34

CAPÍTULO III.....	35
METODOLOGÍA.....	35
3.1 ENFOQUE.....	35
3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	35
3.2.1 Modalidad.....	35
3.2.2 Niveles de investigación.....	36
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	36
3.3.1 Población.....	36
3.3.2 Muestra.....	37
3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	38
3.4.1 Variable independiente:.....	38
3.4.2 Variable dependiente:.....	39
3.5 PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	40
3.6 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	41
CAPÍTULO IV.....	42
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	42
4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	42
4.1.1 Determinación de los defectos a inspeccionar, a partir del análisis del sistema actual de calentamiento.....	42
4.1.2 Criterios de aceptabilidad.....	48

4.2	INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS.....	50
4.2.1	Estudio de calentamiento en probetas de 2mm de espesor.	50
4.2.2	Estudio de calentamiento en probetas de 3mm de espesor.	54
4.2.3	Estudio de calentamiento en probetas de 4mm de espesor.	57
4.2.4	Estudio de calentamiento en probetas de 5mm de espesor.	61
4.3	VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS	64
4.3.1	Análisis exploratorio de datos.....	64
4.3.2	Calificación para cada condición temperatura-tiempo de exposición.	65
4.3.2.1	Probetas de 2mm de espesor, expuestas a T=100°C.....	65
4.3.2.2	Probetas de 2mm de espesor, expuestas a T=150°C.....	67
4.3.2.3	Probetas de 2mm de espesor, expuestas a T=200°C.....	69
4.3.2.4	Probetas de 3mm de espesor, expuestas a T=100°C.....	71
4.3.2.5	Probetas de 3mm de espesor, expuestas a T=150°C.....	72
4.3.2.6	Probetas de 3mm de espesor, expuestas a T=200°C.....	74
4.3.2.7	Probetas de 4mm de espesor, expuestas a T=100°C.....	76
4.3.2.8	Probetas de 4mm de espesor, expuestas a T=150°C.....	77
4.3.2.9	Probetas de 4mm de espesor, expuestas a T=200°C.....	79
4.3.2.10	Probetas de 5mm de espesor, expuestas a T=100°C.....	81
4.3.2.11	Probetas de 5mm de espesor, expuestas a T=150°C.....	83
4.3.2.12	Probetas de 5mm de espesor, expuestas a T=200°C.....	85

4.3.3	Verificación de las condiciones tiempo-temperatura que satisfacen la hipótesis, por medio de la comparación real-teórica del comportamiento del PMMA al calentarse.....	88
4.3.4	Calentamiento transitorio para placas de 2mm de espesor.	89
4.3.5	Calentamiento transitorio para placas de 3mm de espesor.	91
4.3.6	Calentamiento transitorio para placas de 4mm de espesor.	94
4.3.7	Calentamiento transitorio para placas de 5mm de espesor.	96
CAPÍTULO V		99
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		99
5.1	CONCLUSIONES.....	99
5.2	RECOMENDACIONES.	102
CAPÍTULO VI.....		103
PROPUESTA.....		103
6.1	DATOS INFORMATIVOS.	103
6.1.1	Título.....	103
6.1.2	Beneficiario.....	103
6.2	ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.	103
6.3	JUSTIFICACIÓN.....	104
6.4	OBJETIVOS.....	105

6.4.1	General.....	105
6.4.2	Específicos.....	105
6.5	ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.....	106
6.6	FUNDAMENTACIÓN.....	106
6.6.1	Calor requerido por la placa acrílica.....	106
6.6.2	Selección de la fuente eléctrica de trabajo.....	107
6.6.2.1	Determinación de la corriente de funcionamiento.....	107
6.6.3	Selección del alambre Nicrom 80/20.....	108
6.6.4	Calor requerido para calentar el aire atmosférico que rodea al alambre.....	110
6.6.5	Cálculo del calor originado por la convección del alambre de resistencia.....	113
6.6.5.1	Determinación del coeficiente de convección.....	114
6.6.6	Cálculo del calor originado por la radiación del alambre de resistencia.....	115
6.6.6.1	Determinación del coeficiente de radiación.....	115
6.6.7	Balance de energía del sistema.....	116
6.6.8	Circuito eléctrico del sistema.....	117
6.6.8.1	Línea de Control del Circuito.....	117
6.6.8.1.1	Termocupla.....	117
6.6.8.1.2	Controlador de Temperatura PID.....	118
6.6.8.1.3	Relé en estado Sólido (SSR).....	119

6.6.8.2	Línea de Potencia del Circuito.....	121
6.7	METODOLOGÍA.....	123
6.8	ADMINISTRACIÓN.....	124
6.8.1	Costos directos. [CD].....	124
6.8.2	Costos indirectos. [CI]	125
6.8.3	Costo total del proyecto. [CT].....	126
6.9	PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN.....	127
GUÍA DE TRABAJO PARA OBTENER ARTICULOS DOBLADOS ACEPTABLES		129
BIBLIOGRAFÍA		134
Libros		134
Internet		134
Archivos PDF y Revistas.....		135
ANEXOS		137

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 2-1. Propiedades Físicas del PMMA.....	8
Tabla 2-2. Polímeros para termoformado.	13
Tabla 2-3. Orden de magnitud de coeficientes de transferencia de calor por convección h.....	24
Tabla 3-1. Unidades de observación.	37
Tabla 3-2.- Operacionalización de la variable independiente.....	38
Tabla 3-3.- Operacionalización de la variable dependiente.	39
Tabla 4-1. Medición del defecto de ampollas.	43
Tabla 4-2. Medición del defecto de quemadura.....	44
Tabla 4-3. Medición del defecto de agrietamiento.....	45
Tabla 4-4. Medición del defecto de bordes deformados.....	46
Tabla 4-5. Medición del defecto de distorsión.....	47
Tabla 4-6. Lista de chequeo, para determinar visualmente la defectología de las probetas.	49
Tabla 4-7. Lista de chequeo para una condición de T=100 °C y tiempo de exposición= 5 min. (2mm).....	50
Tabla 4-8. Lista de chequeo para una condición de T=100 °C y tiempo de exposición= 2 min. (2mm).....	51
Tabla 4-9. Lista de chequeo para una condición de T=100 °C y tiempo de exposición= 0,5 min. (2mm).....	51
Tabla 4-10. Listado General de resultados para pruebas en placas de 2mm de espesor.....	52

Tabla 4-11. Lista de chequeo para una condición de T=100 °C y tiempo de exposición= 5 min. (3mm).....	54
Tabla 4-12. Lista de chequeo para una condición de T=100 °C y tiempo de exposición= 2 min. (3mm).....	55
Tabla 4-13. Lista de chequeo para una condición de T=100 °C y tiempo de exposición= 0,5 min. (3mm).....	55
Tabla 4-14. Listado General de resultados para pruebas en placas de 3mm de espesor.....	56
Tabla 4-15. Lista de chequeo para una condición de T=100 °C y tiempo de exposición= 5 min. (4mm).....	57
Tabla 4-16. Lista de chequeo para una condición de T=100 °C y tiempo de exposición= 2 min. (4mm).....	58
Tabla 4-17. Lista de chequeo para una condición de T=100 °C y tiempo de exposición= 0,5 min. (4mm).....	58
Tabla 4-18. Listado General de resultados para pruebas en placas de 4mm de espesor.....	59
Tabla 4-19. Lista de chequeo para una condición de T=100 °C y tiempo de exposición= 5 min. (5mm).....	61
Tabla 4-20. Lista de chequeo para una condición de T=150 °C y tiempo de exposición= 5 min. (5mm).....	62
Tabla 4-21. Lista de chequeo para una condición de T=200 °C y tiempo de exposición= 5 min. (5mm).....	62
Tabla 4-22. Listado General de resultados para pruebas en placas de 5mm de espesor.....	63
Tabla 4-23. Análisis a T=100°C y t=5 minutos, e=2mm.....	65

Tabla 4-24. Análisis a $T=100^{\circ}\text{C}$ y $t=2$ minutos, $e=2\text{mm}$	66
Tabla 4-25. Análisis a $T=100^{\circ}\text{C}$ y $t=0,5$ minutos, $e=2\text{mm}$	66
Tabla 4-26. Análisis a $T=150^{\circ}\text{C}$ y $t=5$ minutos, $e=2\text{mm}$	67
Tabla 4-27. Análisis a $T=150^{\circ}\text{C}$ y $t=2$ minutos, $e=2\text{mm}$	67
Tabla 4-28. Análisis a $T=150^{\circ}\text{C}$ y $t=0,5$ minutos, $e=2\text{mm}$	68
Tabla 4-29. Análisis a $T=200^{\circ}\text{C}$ y $t=5$ minutos, $e=2\text{mm}$	69
Tabla 4-30. Análisis a $T=200^{\circ}\text{C}$ y $t=2$ minutos, $e=2\text{mm}$	69
Tabla 4-31. Análisis a $T=200^{\circ}\text{C}$ y $t=0,5$ minutos, $e=2\text{mm}$	70
Tabla 4-32. Análisis a $T=100^{\circ}\text{C}$ y $t=5$ minutos, $e=3\text{mm}$	71
Tabla 4-33. Análisis a $T=100^{\circ}\text{C}$ y $t=2$ minutos, $e=3\text{mm}$	71
Tabla 4-34. Análisis a $T=100^{\circ}\text{C}$ y $t=0,5$ minutos, $e=3\text{mm}$	72
Tabla 4-35. Análisis a $T=150^{\circ}\text{C}$ y $t=5$ minutos, $e=3\text{mm}$	72
Tabla 4-36. Análisis a $T=150^{\circ}\text{C}$ y $t=2$ minutos, $e=3\text{mm}$	73
Tabla 4-37. Análisis a $T=150^{\circ}\text{C}$ y $t=0,5$ minutos, $e=3\text{mm}$	73
Tabla 4-38. Análisis a $T=200^{\circ}\text{C}$ y $t=5$ minutos, $e=3\text{mm}$	74
Tabla 4-39. Análisis a $T=200^{\circ}\text{C}$ y $t=2$ minutos, $e=3\text{mm}$	74
Tabla 4-40. Análisis a $T=200^{\circ}\text{C}$ y $t=0,5$ minutos, $e=3\text{mm}$	75
Tabla 4-41. Análisis a $T=100^{\circ}\text{C}$ y $t=5$ minutos, $e=4\text{mm}$	76
Tabla 4-42. Análisis a $T=100^{\circ}\text{C}$ y $t=2$ minutos, $e=4\text{mm}$	76
Tabla 4-43. Análisis a $T=100^{\circ}\text{C}$ y $t=0,5$ minutos, $e=4\text{mm}$	77
Tabla 4-44. Análisis a $T=150^{\circ}\text{C}$ y $t=5$ minutos, $e=4\text{mm}$	77

Tabla 4-45. Análisis a $T=150^{\circ}\text{C}$ y $t=2$ minutos, $e=4\text{mm}$	78
Tabla 4-46. Análisis a $T=150^{\circ}\text{C}$ y $t=0,5$ minutos, $e=4\text{mm}$	78
Tabla 4-47. Análisis a $T=200^{\circ}\text{C}$ y $t=5$ minutos, $e=4\text{mm}$	79
Tabla 4-48. Análisis a $T=200^{\circ}\text{C}$ y $t=2$ minutos, $e=4\text{mm}$	79
Tabla 4-49. Análisis a $T=200^{\circ}\text{C}$ y $t=0,5$ minutos, $e=4\text{mm}$	80
Tabla 4-50. Análisis a $T=100^{\circ}\text{C}$ y $t=5$ minutos, $e=5\text{mm}$	81
Tabla 4-51. Análisis a $T=100^{\circ}\text{C}$ y $t=2$ minutos, $e=5\text{mm}$	81
Tabla 4-52. Análisis a $T=100^{\circ}\text{C}$ y $t=0,5$ minutos, $e=5\text{mm}$	82
Tabla 4-53. Análisis a $T=150^{\circ}\text{C}$ y $t=5$ minutos, $e=5\text{mm}$	83
Tabla 4-54. Análisis a $T=150^{\circ}\text{C}$ y $t=2$ minutos, $e=5\text{mm}$	83
Tabla 4-55. Análisis a $T=150^{\circ}\text{C}$ y $t=0,5$ minutos, $e=5\text{mm}$	84
Tabla 4-56. Análisis a $T=200^{\circ}\text{C}$ y $t=5$ minutos, $e=5\text{mm}$	85
Tabla 4-57. Análisis a $T=200^{\circ}\text{C}$ y $t=2$ minutos, $e=5\text{mm}$	85
Tabla 4-58. Análisis a $T=200^{\circ}\text{C}$ y $t=0,5$ minutos, $e=5\text{mm}$	86
Tabla 4-59. Mediciones experimentales y datos teóricos del desarrollo del calentamiento, en placa de 2mm	89
Tabla 4-60. Mediciones experimentales y datos teóricos del desarrollo del calentamiento, en placa de 3mm	91
Tabla 4-61. Mediciones experimentales y datos teóricos del desarrollo del calentamiento, en placa de 4mm	94
Tabla 4-62. Mediciones experimentales y datos teóricos del desarrollo del calentamiento, en placa de 5mm	96

Tabla 6-1. Parámetros de funcionamiento de una fuente DC conmutable.....	107
Tabla 6-2. Características temperatura corriente del hilo Nircrom.....	109
Tabla 6-3. Tabla de propiedades a temperatura ambiente (Estado 1).....	110
Tabla 6-4. Tabla de propiedades a temperatura requerida de 200°C (Estado 2).	112
Tabla 6-5. Datos iniciales para el cálculo	113
Tabla 6-6. Propiedades del aire evaluadas a T_f (Anexo 8).	114
Tabla 6-7. Características de Relés.	120
Tabla 6-8. Detalle Costo CEE.....	124
Tabla 6-9. Detalle Costo CEB.....	125
Tabla 6-10. Detalle Costo CS.....	125
Tabla 6-11. Detalle Costo CMO.	125
Tabla 6-12. Detalle Costo CV.....	126
Tabla 6-13. Detalle Costo Total.....	126
Tabla 6-14. Parámetros de calentamiento en función del espesor para lámina acrílica Acrilux.....	131

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 2-1. Variación del volumen específico en función de la temperatura, a) polímero cristalino, b) polímero lineal o amorfo.	14
Ilustración 2-2. Logaritmo del módulo de relajación frente a la temperatura para poliestireno amorfo, mostrando cinco diferentes comportamientos viscoelásticos.	15
Ilustración 2-3. Recomendaciones para obtener un buen doblez.	18
Ilustración 2-4. Representación gráfica de la conducción de calor.	19
Ilustración 2-5. Desarrollo de la capa límite en la transferencia de calor por convección.	20
Ilustración 2-6. Flujo de frontera libre en forma de Penacho, sobre un alambre caliente.	21
Ilustración 2-7. Interferómetro mostrando líneas de temperatura constante alrededor de un cilindro.	21
Ilustración 2-8. Procesos de transferencia de calor por convección, (a) convección forzada, (b) convección natural, (c) ebullición y (d) condensación.	22
Ilustración 2-9. Intercambio de radiación.	24
Ilustración 2-10. Composición química del PMMA.	29
Ilustración 2-11. Variedad de geometrías obtenidas por dobleces.	30
Ilustración 2-12. Artículos publicitarios producidos en serie.	31
Ilustración 2-13. Mostradores fabricados de una sola pieza, por medio del doblado con calentamiento lineal.	31
Ilustración 3-1.- Esquema para determinar la muestra del ensayo.	37
Ilustración 3-2. Esquema del prototipo de calentador.	40

Ilustración 4-1. Ampollas.....	43
Ilustración 4-2. Cambio de color por quemadura.....	44
Ilustración 4-3. Craqueo y agrietamiento.....	45
Ilustración 4-4. Bordos deformados.	46
Ilustración 4-5. Marcas de ruptura, líneas de falla.	47
Ilustración 4-6. Diagrama de distorsión en el dobléz.....	47
Ilustración 4-7. Desarrollo del calentamiento en las placas acrílicas.....	88
Ilustración 5-1. Placa acrílica de 5mm de espesor sometida a 200°C durante 10 minutos.....	100
Ilustración 5-2. Placa acrílica de 2mm de espesor, expuesta a una temperatura de 300°C y t=5min.....	101
Ilustración 5-3. Placa acrílica de 4 mm de espesor, expuesta a una temperatura de 300°C y t=5min.....	101
Ilustración 6-1. Fuente DC 12V- 100W.....	108
Ilustración 6-2. Esquema del sistema de transferencia de calor.....	113
Ilustración 6-3. Sección transversal del sistema de transferencia de energía.	116
Ilustración 6-4. Esquema de la termocupla Watlow tipo K.	118
Ilustración 6-5. Termocupla Watlow Utilizada.....	118
Ilustración 6-6. Controlador Watlow PID.....	119
Ilustración 6-7. SSR utilizado.	121
Ilustración 6-8. Relación temperatura ambiente-corriente de carga para SSR. ...	121
Ilustración 6-9. Diagrama eléctrico del sistema.....	122

Ilustración 6-10. Diagrama para calidad del proceso de elaboración de artículos publicitarios en PMMA.....	128
Ilustración 6-11. Representación de una separación mayor entre la placa acrílica y el alambre de resistencia Nicrom.	129
Ilustración 6-12. Simulación térmica de la ilustración 6-11. Formación del penacho de transferencia en dirección opuesta a la placa.	130
Ilustración 6-13. Representación de una separación mínima entre la placa acrílica y el alambre de resistencia Nicrom.	130
Ilustración 6-14. Simulación térmica de la ilustración 6-13. Formación del penacho de transferencia directamente hacia la placa expuesta.....	131
Ilustración 6-15. Representación para la dirección de doblado.	132
Ilustración 6-16. Prototipo Del Calentador Eléctrico.....	132
Ilustración 6-17. Calentamiento de una probeta de 3mm.	133

ÍNDICE DE GRAFICAS.

Gráfico 4-1. Porcentaje de aceptación obtenido vs. Relación Temperatura-Tiempo de exposición, para placas de 2mm de espesor.	70
Gráfico 4-2. Porcentaje de aceptación obtenido vs. Relación Temperatura-Tiempo de exposición, para placas de 3mm de espesor.	75
Gráfico 4-3. Porcentaje de aceptación obtenido vs. Relación Temperatura-Tiempo de exposición, para placas de 4mm de espesor.	80
Gráfico 4-4. Porcentaje de aceptación obtenido vs. Relación Temperatura-Tiempo de exposición, para placas de 5mm de espesor.	86
Gráfico 4-5. Regresiones de temperatura-tiempo obtenidas para cada espesor.	87
Gráfico 4-6. Comportamiento de una placa de 2 mm, expuesta a T=100 °C.	89
Gráfico 4-7. Comportamiento de una placa de 2 mm, expuesta a T=150 °C.	90
Gráfico 4-8. Comportamiento de una placa de 2 mm, expuesta a T=200 °C.	90
Gráfico 4-9. Comportamiento de una placa de 3 mm, expuesta a T=100 °C.	92
Gráfico 4-10. Comportamiento de una placa de 3 mm, expuesta a T=150 °C.	92
Gráfico 4-11. Comportamiento de una placa de 3 mm, expuesta a T=200 °C.	93
Gráfico 4-12. Comportamiento de una placa de 4 mm, expuesta a T=100 °C.	94
Gráfico 4-13. Comportamiento de una placa de 4 mm, expuesta a T=150 °C.	95
Gráfico 4-14. Comportamiento de una placa de 4mm, expuesta a T=200 °C.	95
Gráfico 4-15. Comportamiento de una placa de 5mm, expuesta a T=100 °C.	97
Gráfico 4-16. Comportamiento de una placa de 5mm, expuesta a T=150 °C.	97
Gráfico 4-17. Comportamiento de una placa de 5mm, expuesta a T=200 °C.	98

SIMBOLOGÍA

- L: Longitud del alambre de resistencia [m].
- D: Diámetro del alambre de resistencia [m].
- k: Constante de conductividad térmica del material [W/m^2].
- A: Área [m^2].
- T_{∞} : Temperatura ambiente [$^{\circ}\text{C}$].
- T_s : Temperatura de superficie [$^{\circ}\text{C}$].
- T_f : Temperatura promedio [$^{\circ}\text{K}$].
- ρ : Densidad [kg/m^3].
- h_c : Coeficiente de transferencia de calor por convección [$\text{W}/\text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$].
- Nu: Número de Nusselt [adimensional].
- Ra: Número de Rayleigh [adimensional].
- Pr: Número de Prandtl [adimensional].
- ν : Viscosidad Cinemática.
- α : Difusividad Térmica.
- β : Coeficiente de expansión volumétrica.
- ε : Emisividad de la superficie de radiación [adimensional].
- σ : Constante de Stefan Boltzmann [$5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2 \text{ K}^4$].
- h_r : Coeficiente de transferencia de calor por radiación [$\text{W}/\text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$].
- t: Tiempo de exposición [s].
- C_p : Calor específico del fluido [$\text{kJ}/\text{kg }^{\circ}\text{C}$].

- Q: Calor Transferido [W].
- P_{atm} : Presión Atmosférica [kPa].
- P_a : Presión de aire seco [kPa].
- P_v : Presión de vapor [kPa].
- HR: (ϕ) Humedad relativa [%].
- ω : Humedad absoluta o específica [kg vapor agua / kg aire seco].
- h: Entalpía [kJ/kg].
- P: Potencia Eléctrica [W].
- I: Intensidad de Corriente [A].
- V: Voltaje [V].

RESUMEN EJECUTIVO.

En el desarrollo de la industria publicitaria, se han implementado cada vez sistemas tecnológicos de gran alcance, en los diferentes procesos productivos que abarca.

Este proyecto se dirigió al tratamiento térmico del PMMA, para conformar dobleces lineales, centrandó el estudio en dos parámetros críticos, como son la temperatura y el tiempo de exposición en el calentamiento.

Se determinó la defectología en placas acrílicas que han sido mal calentadas como por ejemplo: ampollas, cambios en la coloración o transparencia, craqueo, deformación de bordes, distorsión, para proponer un sistema de calentamiento adecuado y de calidad superior, al vigente de la empresa MORCE D&P.

A través de los ensayos se determinaron datos para las relaciones temperatura – tiempo de exposición, en función del espesor de cada placa estudiada, definiéndose así las condiciones de partida para desarrollar el diseño del prototipo propuesto; un tiempo límite de 5 minutos y una temperatura máxima de 200°C.

Finalmente se diseñó un calentador eléctrico mediante transferencia de energía por convección, que cumplió con los requerimientos de la empresa, con las siguientes características: potencia de trabajo de 100W a 12V de corriente continua, con un alambre de resistencia Nicrom 80/20-SWG 18 y controlado por un equipo PID, obteniendo un margen promedio de mejora del 220%, comparando con el rendimiento del sistema por conducción.

ABSTRACT

In the development of the advertising industry, great ranges of technological systems have been implemented in the different production processes that it encompasses.

This project addressed the heat treatment of PMMA, to form linear folds, the study focused on two critical parameters, such as temperature and exposure time in warming.

The defectology in acrylic plates that have been poorly heated was determined. For example: blisters, discoloration or transparency changes, cracking, deformation of edges, distortion, in order to propose an appropriate and high quality heating system, linked to current process of the company MORCE D & P.

Through research, values for relationships temperature - exposure time were determined, depending on the thickness of each plate studied, thus defining the starting conditions to develop the design of the proposed prototype; with limit time of 5 minutes and a maximum temperature of 200°C.

Finally an electric heater through energy transfer by convection was designed, which accomplishes the requirements of the company, with the following features: work power of 100W at 12V DC with a Nichrome resistance wire 80/20 (SWG 18) and controlled by PID equipment, obtaining an average improvement margin of 220%, compared to the performance of the system by conduction.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 TEMA.

Estudio de parámetros en el sistema de calentamiento eléctrico por convección de lámina de polimetilmetacrilato (PMMA) Acrilux, de hasta 5mm de espesor, y su influencia en la calidad del doblado, en la producción de artículos publicitarios en la empresa MORCE Diseño y Publicidad.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.2.1 Contextualización.

La publicidad es la herramienta más eficaz que poseen las empresas al momento de querer hacer llegar sus productos a los consumidores, a través de ella dan a conocer las características, beneficios y cualidades del mismo.

Si un anuncio está muy bien realizado y nuestro estado de ánimo es el ideal para percibir lo que se nos quiere dar a entender, seremos presa fácil para consumir tal producto.

A nivel nacional la empresa publicitaria se manifiesta con grandes proyectos como son rotulación vial, vallas estructurales de formato industrial (gigantografías), dentro de las cuales las empresas más estabilizadas en el medio son: Induvallas y Letra Sigma.

En la ciudad de Ambato según la cámara de comercio, se cuenta con un número aproximado de 764 empresas comerciales, industriales entre grandes, medianas y pequeñas a las cuales se les puede dar el servicio de publicidad, en este caso particular la propuesta de artículos publicitarios de acrílico (PMMA) con una gestión de la calidad adecuada.

De igual forma según la Cámara de Comercio de Ambato, las empresas publicitarias afiliadas a esta organización son las siguientes:

- BANOVO ASOCIADOS
- ALLDUS
- DIARTES
- DESINGGRAFIC.
- ETC ARTESTUDIO CIA. LTDA.
- BIOMARKETING CIA. LTDA.
- COF SOCIEDAD ANÓNIMA.

Cabe señalar que hay numerosas agencias que no constan en esta lista, es decir, no están afiliadas a la Cámara de Comercio.

MORCE Diseño y Publicidad, brinda sus servicios a empresas cuyas necesidades son obtener una imagen corporativa al nivel de sus expectativas, ofertando varios productos.

En este caso la variedad de artículos elaborados a partir del acrílico (PMMA), conjuntamente con el área de diseño gráfico, presentan un gran interés en mejorar la calidad de los mismos y mejor aún en optimizar su producción, para cumplir con la demanda de las instituciones que requieren del servicio de la empresa, quienes de acuerdo a sus manuales de imagen, necesitan diseños limpios visualmente, de alta calidad y en tiempos cortos.

Cualquier persona interesada en satisfacer las necesidades del consumidor debe comprender lo que motiva a las personas a comprar un producto y a rechazar otro. Aunque algunas razones son puramente funcionales y económicas, otras comprenden elementos de la conducta humana que, una vez identificados, no sólo ayudan a hacer la venta, sino que contribuyen a que la compañía produzca artículos que satisfagan tanto necesidades psicológicas como prácticas.

1.2.2 Análisis crítico.

Al incursionar en el campo de la investigación del proceso de doblado de láminas acrílicas, la Universidad Técnica de Ambato, enlazaría los conocimientos de las aulas con el medio laboral e industrial, precisamente en el entorno publicitario, ya que se irían combinando los proyectos de aprendizaje con la realidad del profesional.

Cualquier productor de artículos publicitarios, específicamente de acrílico (habladores, displays, mostradores, buzones corporativos, letras en bloque, isotipos, rotulación 3D,etc) puede beneficiarse de un estudio en el cual se establezcan los parámetros que permitan doblar correctamente la lámina, para evitar marcas en la línea guía, craqueo de las piezas cortadas, arqueado en los dobleces mayores a 60cm, con lo que se mejoraría la calidad de los productos terminados y también en gran medida la línea de producción de los mismos.

No deberían aplicarse métodos manuales (Calentamiento por medio de pistolas de calor) para el doblado de las piezas de lámina acrílica, ya que podrían representar pérdidas de tiempo, ya sea por el lento desarrollo tecnológico o por una deficiente información técnica.

La calidad y control de los procesos posteriores son una exigencia muy importante, demandando así la rapidez y eficacia de la primera etapa de calentamiento de la lámina, obligando a innovar y cambiar el sistema actual.

1.2.3 Prognosis.

Las desventajas que presenta el no determinar los factores directos que intervienen en el proceso de calentamiento, se ve manifestado en una baja calidad en los artículos publicitarios producidos, en la empresa MORCE, afectando notablemente a las geometrías obtenidas (irregularidades, arqueos), presencia de defectos (porosidades, craqueos, agrietamientos), los tiempos de los procesos, lo que implicaría mayores costos, desperdicio de recursos y materias primas, y por lo tanto descontento total del cliente, lo que se refleja en la disminución de las ventas.

Así también, la carrera de Ingeniería Mecánica de la UTA no abarcaría campos ocupacionales importantes dentro de la industria publicitaria, al dejar de lado el estudio del presente problema, lo que afectaría la relación aprendizaje – aplicación, en la solución de situaciones reales.

1.2.4 Formulación del problema.

¿Qué parámetros de calentamiento eléctrico por convección de lámina de polimetilmetacrilato, deben determinarse para mejorar la calidad de los acabados en el proceso de doblado para la producción de los artículos publicitarios en la empresa MORCE D&P?

1.2.5 Preguntas directrices.

- ¿Cuáles son las imperfecciones o acabados defectuosos que se presentan al doblar una pieza mal calentada?
- ¿Por qué no se considera un tiempo de exposición adecuado para calentar las láminas?
- ¿Por qué no se controla la temperatura a la que se somete el material?
- ¿Por qué no se incluye a la velocidad del aire como un factor a controlar, en el proceso de calentamiento?
- ¿Influirá el cambio de espesor de la placa en los parámetros de calentamiento?
- ¿Existe algún procedimiento definido para realizar el doblado de las placas?

1.2.6 Delimitación.

1.2.6.1 Espacial.

El problema de investigación se analizó en la Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, en el laboratorio, para realizar la

comprobación de los datos medidos; mientras que el problema se presenta particularmente en la empresa de publicidad MORCE D&P.

1.2.6.2 Temporal.

El presente proyecto de investigación se desarrolló en el transcurso del año, a partir del mes de Enero hasta el mes de Junio del 2014.

1.2.6.3 De contenido.

- Ingeniería Mecánica.
- Control de procesos.
- Transferencia de Calor.
- Ingeniería de materiales.
- Procesos de doblado de lámina acrílica
- Gestión de la Calidad.

1.3 JUSTIFICACIÓN.

Debido a la gran demanda existente en la actualidad de artículos publicitarios, que resalten la imagen corporativa de distintas organizaciones y a la vez ser competitivos para el medio, es conveniente la utilización de sistemas mecánicos, máquinas o equipos, que sean capaces de producirlos con mayor rapidez y calidad, lo que garantiza, que el estudio del proceso de doblado de lámina acrílica, y en particular de los factores influyentes en el sistema de calentamiento, representaría un parámetro innovador y productivo, ya que a través de la tecnología o por un sistema netamente mecánico, se podrían mejorar aspectos como:

- Los tiempos de ejecución del proceso de calentamiento, englobando un mayor rendimiento en lo que se refiere a una línea de producción rápida.

- Aplicación de la temperatura, acorde a las características de la lámina a doblarse, y sobre todo de forma uniforme en el área de calentamiento.
- Las geometrías obtenidas en los dobleces, que representa el acabado y por lo tanto el impacto visual para el consumidor del artículo publicitario.

La innovación se ve reflejada en la implementación de alguna herramienta automática o semiautomática, que permita, visualizar los datos de temperatura y tiempo, para que el trabajo realizado por un grupo de personas, sea sustituido por éste, optimizando la mano de obra, al darle un nuevo campo ocupacional, mediante la asignación de nuevas funciones y/o tareas dentro de la misma empresa, y manejando de mejor forma los recursos económicos aplicados en el proceso (ahorro), para poder invertir en el avance y mejoramiento de los procesos y actividades que encaminan el sistema publicitario actual.

Al estudiar los diversos factores de calentamiento para cada espesor en el rango establecido, en el proceso del doblado de lámina de acrílico, se verificará el aporte a la productividad publicitaria, dándose una solución al problema planteado anteriormente, ya que el fin común es llegar a un sistema eficiente que represente cada recurso aplicado en su desarrollo.

Además brinda una visión más amplia del campo profesional del Ingeniero Mecánico de la UTA-FICM, al utilizar los conocimientos adquiridos en el periodo estudiantil, de una manera objetiva, queriendo no ser parte del problema sino mas bien de la solución, proporcionando alternativas funcionales, razón por la cual se impulsa esta investigación ya que podría ser de gran ayuda en la micro y/o mediana empresa local y en el mejor de los casos a nivel nacional.

1.4 OBJETIVOS.

1.4.1 General.

Estudiar los parámetros en el sistema de calentamiento eléctrico por convección de lámina de polimetilmetacrilato (PMMA) Acrilux de hasta 5mm de espesor, y su influencia en la calidad del doblado en la producción de artículos publicitarios en la empresa MORCE Diseño y Publicidad.

1.4.2 Específicos.

- Identificar las imperfecciones producidas al aplicar un mal sistema de calentamiento en el proceso de doblado.
- Manejar adecuadamente las características técnicas del material (Temperatura de formado, calor específico, tipo de lámina, espesor, etc.).
- Determinar los factores (temperatura, tiempo de exposición) que influyen en el calentamiento eléctrico de la lámina de acrílico considerando su variación en función del espesor.
- Plantear una herramienta alternativa como guía de trabajo, para obtener dobleces satisfactorios.


CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.

Para el caso particular de esta investigación, la empresa **ACRILUX S.A.** como proveedor de **Morce D&P**, brinda una información muy generalizada como se muestra a continuación, la cual ayudará como punto de partida para analizar los datos precisos para cada lámina, ya que dicha empresa constituye el mayor distribuidor de este material a nivel nacional, en el campo publicitario.

Tabla 2-1. Propiedades Físicas del PMMA.

Transmisión de la luz	92-95% (superior a la del vidrio).
Densidad	1,2 g/cm ³
Máxima temperatura recomendada para servicio o exposición continua	65 a 90 °C.
Facilidad para el termo-formado: sometién-dole a temperaturas entre	140 a 180 °C.
Mínima temperatura recomendada para servicio o exposición continua	-40 °C.
Baja resistencia a la abrasión.	
No se opaca con el tiempo.	
Fácil limpieza	
Larga vida útil.	

Fuente: Empresa Acrilux S.A.

Como referencia la empresa española **NUDEC**, brinda detalles de los procesos de termoformado y doblado de la siguiente manera:

Termoformado.

Las placas **NUDEC®PMMA** son fácilmente termoformables en cualquier horno con circulación de aire. La temperatura de las placas debe ser superior a 140 °C.

En caso de que las placas hayan estado almacenadas en una atmósfera húmeda, es preferible secarlas antes, durante unas horas (de 2 a 4) a una temperatura aproximada entre 80-85 °C para evitar problemas al termoformar. Para lograr un buen acabado, puede procederse también a calentar el molde a emplear entre 50 - 60 °C. Una temperatura excesiva del mismo, podría perjudicar las placas.

Todos los productos NUDEC llevan un film de protección para la superficie ante posibles daños durante la producción y transporte. Este film protector debe ser retirado antes de proceder calentamiento.

Doblado.

Para doblar las placas NUDEC®PMMA se necesitará un patrón de doblaje y una resistencia o alambre incandescente. El calentamiento de la zona a doblar debe ser total y homogéneo.

Recomendamos que el radio más pequeño sea el doble del grosor de las placas. Es conveniente enfriar la parte de la placa cercana a la línea de doblado.

La guía más destacada es la de la empresa PLASTIGLAS S.A. de México, como se citan algunos aspectos tomados de su manual de proceso, adjuntado en el anexo 1.

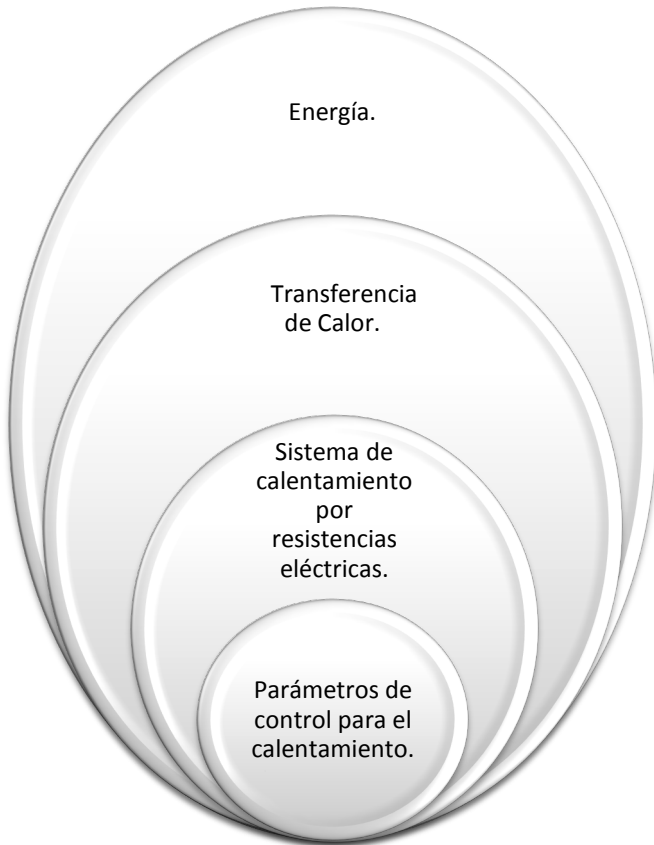
2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA.

El proyecto de investigación se basa en un paradigma de pensamiento complejo, ya que la finalidad del mismo trata la identificación de los factores que inciden en el proceso de calentamiento de las piezas acrílicas a doblarse, y el posible mejoramiento de éste, a través de un sistema controlado, de igual forma al cubrir nuevos campos industriales mediante este proyecto, la carrera de Ingeniería Mecánica de la UTA, va creando nuevos horizontes de productividad académica.

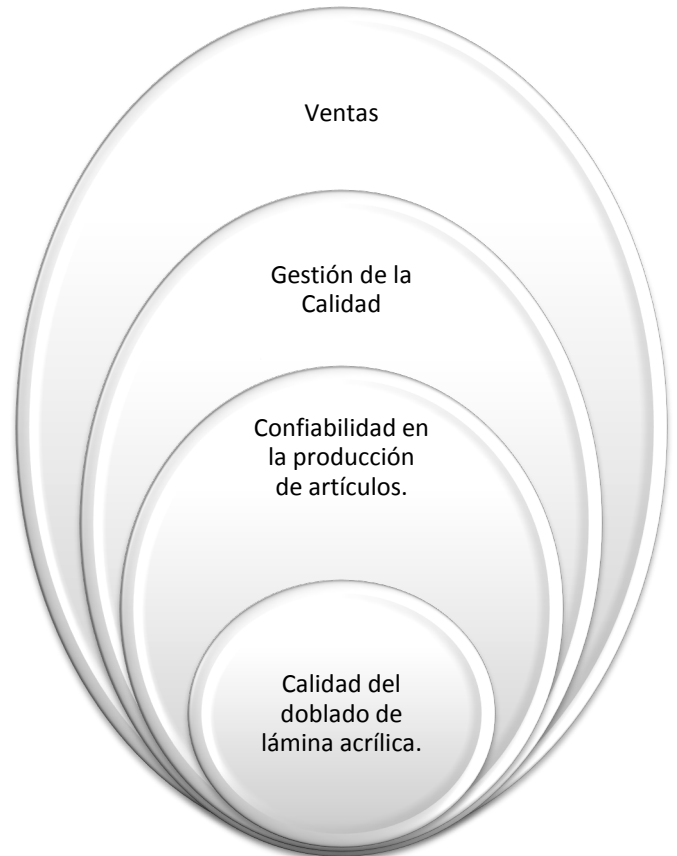
Al existir múltiples realidades se hace posible ampliar las aplicaciones de estos procesos, con una visión total y completa de los hechos, implementando dichos sistemas o mecanismos para evitar la utilización de métodos manuales, que en la actualidad de la empresa no son eficientes.

2.3 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

2.3.1 Superordinación de las variables.



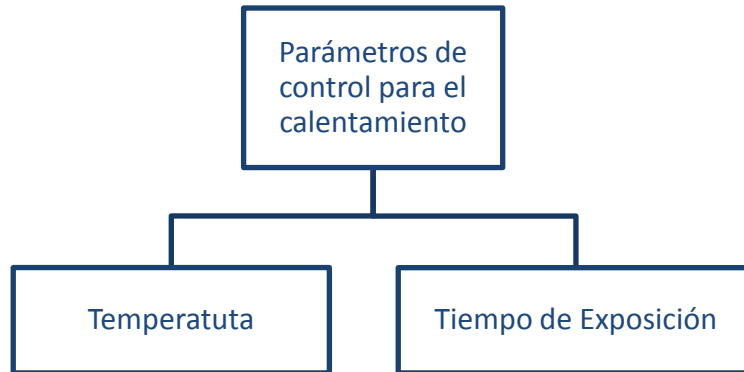
VARIABLE
INDEPENDIENTE



VARIABLE
DEPENDIENTE

2.3.2 Subordinación de las variables.

Variable Independiente



Variable Dependiente



2.3.3 Termoformado de polímeros.

Termoformado es el término generalmente utilizado para el proceso de producción de artículos formados a partir de una hoja plana, con la ayuda de factores como presión y temperatura.

Consiste en la formación de volúmenes u otro tipo de productos a partir de una película plástica que, a través del calor y sobre un molde predeterminado, que está conectado a una fuente de vacío, hace que el material (la lámina) tome la forma requerida y plasmada en dicho molde.

2.3.4 Polímeros adecuados para el termoformado.

Los polímeros termoplásticos son adecuados para el proceso de termoformado, debido a que cuando son sometidos a un calentamiento, presentan una variación en su módulo de elasticidad, dureza y capacidad de resistencia bajo carga, es decir se ablandan y en casos extremos se funden.

Con un incremento de temperatura que rebase el límite vítreo, el comportamiento del material tenderá a volverse a un estado ahulado, teniendo como valor crítico la temperatura de revenido del polímero termoplástico. Esto puede observarse en el rápido pandeo de la hoja calentada, cuando la fuerza de gravedad se vuelve suficiente para causar tal deformación.

La mayoría de los polímeros lineales (polietileno, cloruro de polivinilo, poli (metacrilato de metilo), poliestireno, nylon y fluorocarbonos) y los que tienen estructuras ramificadas con cadenas flexibles son termoplásticos, debido a que son relativamente dúctiles y blandos. (Callister William, 1996).

Tabla 2-2. Polímeros para termoformado.

POLÍMEROS	TEMPERATURA DE DEFLECCIÓN AL CALOR			TEMPERATURA DE TERMOFORMADO		
	A 264 PSI (°C)	A 66 PSI (°C)	SIN CARGA (°C)	TEMP. DE LA HOJA (°C)	TEMP DEL MOLDE (°C)	TEMP DE AYUDA (°C)
Acrílico extruido	94	98		135-175	65-75	
Acrílico cell-cast	96	110		160-180	65-75	
Acetobutirato de celulosa	65-75	75-80	120-150	140-160		
Polietileno de alta densidad		60-80	100	145-190	95	170
Polipropileno	55-65	110-115	140	145-200		
Poliestireno	70-95	70-100	100	140-170	45-65	90
Poliestireno alto impacto	85-95	90-95	120	170-180	45-65	90
SAN	100	105		220-230		
ABS	75-115	80-120	95	120-180	70-85	90
Polivinilo de cloruro (RV.C.)	70	75	110	135-175	45	80
Polycarbonato	130	140	160	180-230	95- 120	140

Fuente: Manual de termoformado PLASTIGLAS.

2.3.5 Viscoelasticidad.

Un polímero termoplástico se comporta como un vidrio a temperaturas bajas, es decir, frente a deformaciones relativamente pequeñas, el comportamiento mecánico es elástico cumpliendo la ley de Hook ($\sigma = E * \varepsilon$).

A temperaturas muy elevadas prevalece el comportamiento viscoso o líquido elástico, mientras que a temperaturas intermedias (por encima de T_g) aparece un sólido como de goma (o gomoeástico), que presenta características mecánicas intermedias entre estos extremos: esta condición se denomina viscoelasticidad. (Callister William, 1996).

2.3.6 Temperatura de transición vítrea (T_g).

La temperatura de transición vítrea denota el estado de la zona amorfa del polímero, a través de la cual se inicia el movimiento intermolecular que transforma la mayor cantidad de energía en calor que pasa a los cristales para reblandecerlos (Suplemento: Rev. LatinAm. Metal. Mater., 2009), correspondiendo a la transformación de un sólido rígido en un sólido con características similares a la goma (cuando se calienta).

Depende de la estructura de los componentes, la cual influye en la capacidad de las cadenas moleculares para vibrar y rotar a medida que la temperatura aumenta, y de manera similar a la definición de viscoelasticidad tenemos que, a temperaturas por encima de T_g , segmentos relativamente grandes de 10 o 50 unidades de repetición pueden moverse con libertad en movimientos conjuntos, logrando modificar su conformación. Por debajo de T_g (estado vítreo) los movimientos quedan limitados a segmentos muy pequeños, impidiendo una reorganización, asociando sus propiedades con los vidrios inorgánicos ordinarios.

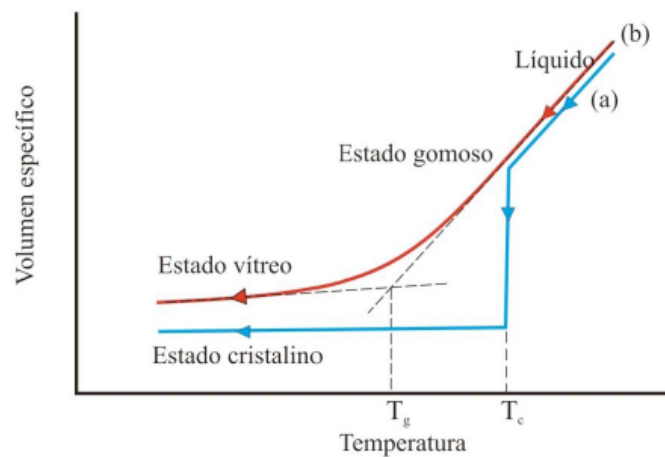


Ilustración 2-1. Variación del volumen específico en función de la temperatura, a) polímero cristalino, b) polímero lineal o amorfo.

Fuente: Tecnología de los Polímeros, M Beltrán y A Marcilla

Para el caso de la investigación actual se disponen datos puntuales de acuerdo a las tablas de propiedades del anexo 2, tomadas del *Polymer Handbook*, específicamente para el poli metilmetacrilato PMMA.

Una representación gráfica que muestra el comportamiento de los polímeros (caso particular del poliestireno amorfo) en función de cambios de la temperatura, es la que se presenta a continuación, planteando la variación del módulo de relajación (Inverso del módulo de elasticidad).

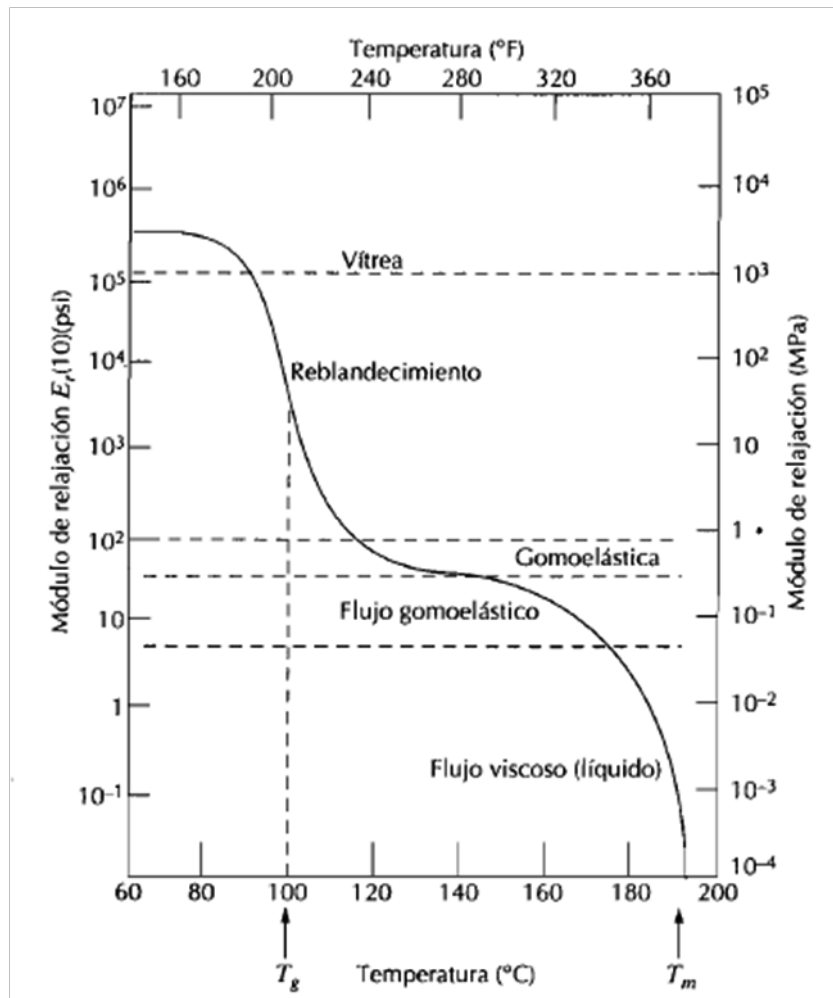


Ilustración 2-2. Logaritmo del módulo de relajación frente a la temperatura para poliestireno amorfo, mostrando cinco diferentes comportamientos viscoelásticos.

Fuente: A.V. TOBOLSKY, Properties and Structures of Polymers.

2.3.7 Calor requerido.

El calor es una forma de energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de una “*diferencia de temperatura*”. (Cengel, 2004).

La energía térmica que gana o pierde un cuerpo de masa m es directamente proporcional a su *variación de temperatura*, de tal forma que la expresión matemática que reúne estos factores es la siguiente:

$$Q = m Cp\Delta T \quad \text{Ecuación 2-1}$$

Bajas temperaturas ocasionan esfuerzos internos excesivos en la pieza formada o doblada, disminuyendo su resistencia y tornándose susceptible a la deformación y a la presencia de defectos importantes.

2.3.8 Tiempos de exposición.

El tiempo que debe someterse el material a calentamiento, depende del espesor de la lámina, equipo de calentamiento y el tipo de formado que se empleen, de esta manera se tiene una fórmula muy práctica para determinar el tiempo de permanencia de una lámina de acrílico, tomando en cuenta el rango de temperatura de revenido previamente ajustado. Según el manual de láminas acrílicas PLASTIGLAS SA:

$$T = 2.1 x E \quad \text{Ecuación 2-2}$$

En donde:

2.1 = Factor,

E = Espesor del material en milímetros,

T = Tiempo en minutos

Esta fórmula es aplicable a láminas Plastiglas de espesor delgado (1 a 6 mm).

Y como se ha mencionado anteriormente, existen variables que pueden modificar esta fórmula, tales como: la temperatura ambiente donde se encuentra localizado el horno (o prototipo en el caso de la presente investigación), la época del año (especialmente en climas extremos), la fluctuación en el espesor del material y las condiciones del equipo entre otras.

Para láminas de calibre bajo, el modelo de calentamiento puede representarse como (Throne. J, 1987):

$$(T_{\infty} - T)/(T_{\infty} - T_0) = \exp\left(-\frac{h\theta}{t\rho C_p}\right) \quad \text{Ecuación 2-3}$$

Dónde:

C_p: Capacidad calórica.

h: Coeficiente de transferencia de calor (Convección).

ρ: Densidad del material.

θ: Tiempo de calentamiento.

t: Espesor del material.

2.3.9 Sistema de calentamiento lineal para el doblado de lámina acrílica.

Sobre una resistencia lineal se calienta la lámina acrílica, doblando al ángulo deseado, se debe remover el papel protector de la zona de calentamiento (puede dejarse el resto del papel para proteger las áreas donde no se va a trabajar), luego se coloca la lámina sobre los soportes con la línea a doblar directamente sobre la línea de calor, haciendo el doblado por el lado calentado.

El tiempo de calentamiento varía según el espesor de la lámina. Para doblar lámina de acrílico de espesor mayor a 4.0 mm es recomendable calentarla por ambos lados para lograr un doblado adecuado.

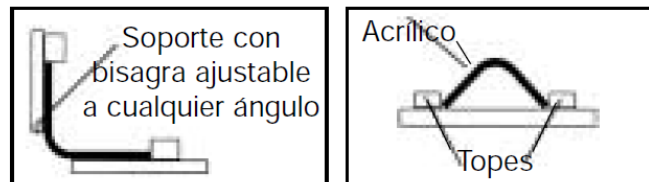
No hay que tratar de doblar la lámina antes de que esté bien calentada, esto puede ocasionar esquinas irregulares o plegadas (defectología).

Un calentamiento irregular puede causar arqueado en la línea de doblado, especialmente en piezas de longitudes mayores a 60 cm. El arqueado puede ser disminuido sujetando el material recién formado con unas pinzas o una plantilla hasta que se enfríe. Las plantillas pueden hacerse de madera, fijas o ajustables.



Con un calentamiento adecuado obtendrá esquinas limpias y brillantes.

Coloque la lámina sobre los soportes con la línea a doblar directamente sobre la línea del calor .



Utilice plantillas fijas o ajustables para mantener la pieza en el ángulo deseado.

Ilustración 2-3. Recomendaciones para obtener un buen doblé.

Fuente: Manual de lámina Acrílica, Plastiglas.

2.3.10 Procesos de transferencia de calor.

A la transferencia de calor se la puede describir como el estudio de las velocidades a las cuales el calor se intercambia entre fuentes de calor y receptores.

Los procesos de transferencia de calor se relacionan con las razones de intercambio térmico, tales como los que ocurren en equipo de transferencia de calor, tanto en ingeniería mecánica como en los procesos químicos (Holman, J. P., 1999). Este enfoque realza la importancia de las diferencias de temperatura entre la fuente y el receptor, lo que es, después de todo, el potencial por el cual la transferencia de calor se lleva a efecto.

2.3.11 Sistemas de transferencia de calor.

2.3.11.1 Por conducción.

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases.

“La velocidad de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura (ΔT) a través de ésta y al área (A) de transferencia de calor, pero inversamente proporcional al espesor (Δx) de esa capa”, según (Cengel. Y, 2004).

$$\dot{Q}_{CONDUC} = kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad \text{Ecuación 2-4}$$

Donde la constante de proporcionalidad k , representa la conductividad térmica del material, que a la vez es una medida de la capacidad de un material para conducir calor.

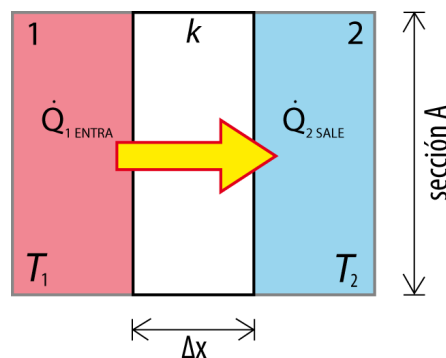


Ilustración 2-4. Representación gráfica de la conducción de calor.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

2.3.11.2 Por convección.

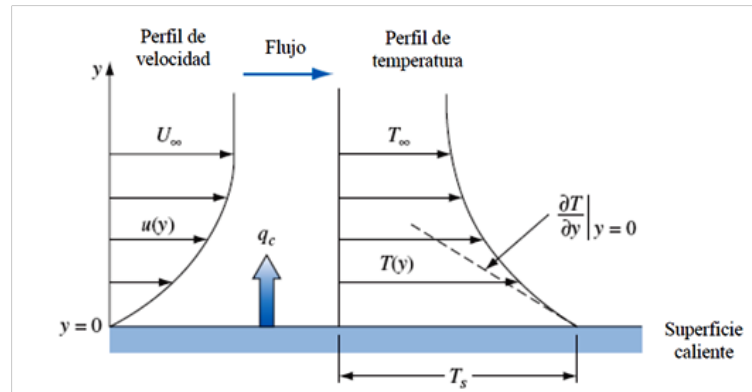


Ilustración 2-5. Desarrollo de la capa límite en la transferencia de calor por convección.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

La convección es el término que se usa para describir la transferencia de calor desde una superficie a un fluido en movimiento, implicando transporte de energía y de materia, por lo tanto, esta forma de transmisión de calor es posible solamente en los fluidos y es además característica de ellos.

Existen dos tipos de convección:

En la **convección natural**, la fuerza motriz procede de la variación de densidad en el fluido como consecuencia del contacto con una superficie a diferente temperatura, lo que da lugar a fuerzas ascensoriales. El fluido próximo a la superficie adquiere una velocidad debida únicamente a esta diferencia de densidades, sin ninguna influencia de fuerza motriz exterior.

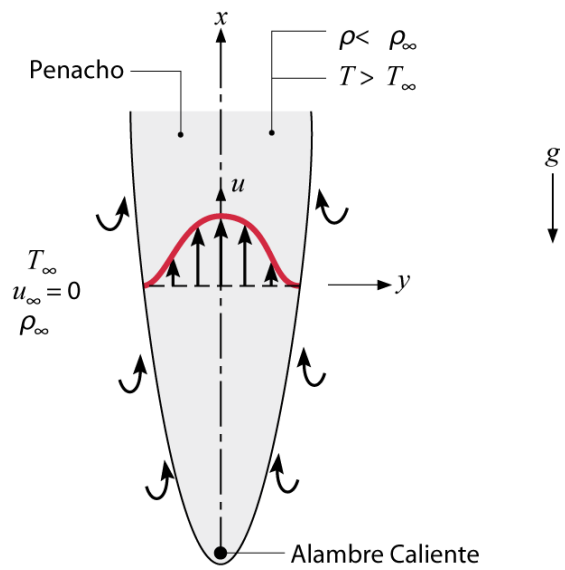


Ilustración 2-6. Flujo de frontera libre en forma de Penacho, sobre un alambre caliente.

Fuente: INCROPERA, Fundamentos de transferencia de calor.

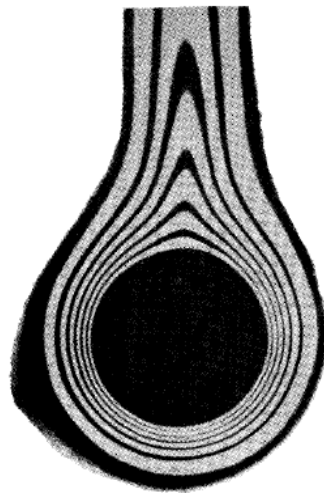


Ilustración 2-7. Interferómetro mostrando líneas de temperatura constante alrededor de un cilindro.

Fuente: HOLMAN, J. P, Transferencia de calor.

La **convección forzada** tiene lugar cuando una fuerza motriz exterior mueve un fluido sobre una superficie que se encuentra a una temperatura mayor o menor que la del fluido. Esa fuerza motriz exterior puede ser un ventilador, una bomba, el viento, etc. Como la velocidad del fluido en la convección forzada es mayor que en la convección natural, se transfiere, por lo tanto, una mayor cantidad de calor para una determinada temperatura.

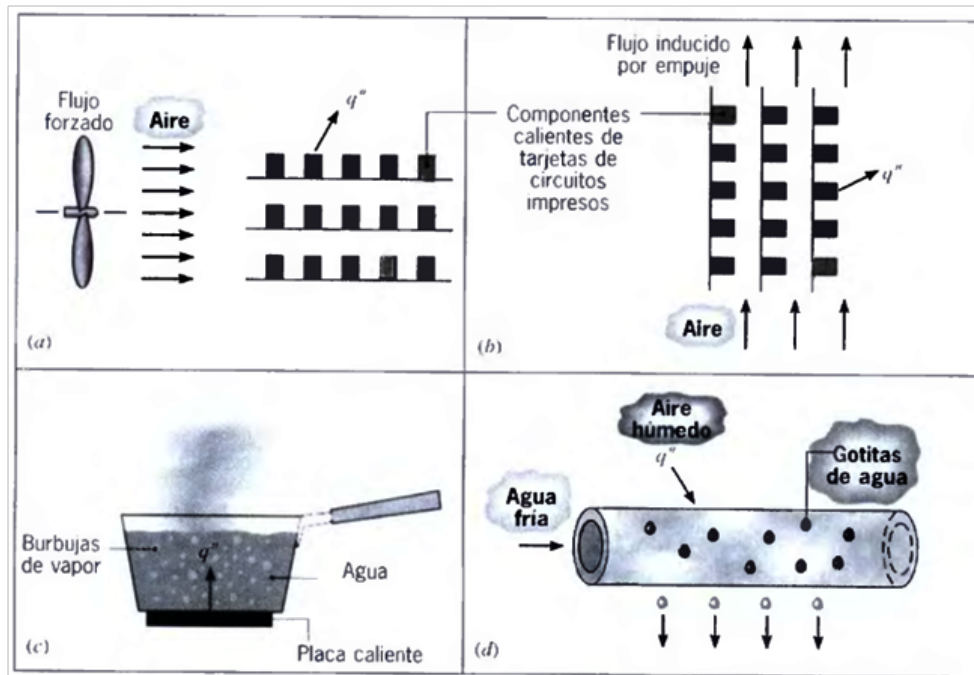


Ilustración 2-8. Procesos de transferencia de calor por convección, (a) convección forzada, (b) convección natural, (c) ebullición y (d) condensación.

Fuente: INCROPERA, Fundamentos de transferencia de calor.

Sin importar la naturaleza particular del proceso de transferencia de calor por convección, la ecuación o modelo apropiado es de la forma:

$$\dot{Q}_{CONVEC} = hA_S(T_S - T_\infty) \quad \text{Ecuación 2-5}$$

Dónde:

h : Coeficiente de transferencia de calor por convección.

A_S : Área superficial a través de la cual se da la transferencia de calor.

T_s : Temperatura de la superficie.

T_∞ : Temperatura del fluido suficientemente alejado de dicha superficie.

El coeficiente de transferencia de calor por convección h , está en función de muchas variables, para ser calculado de forma aproximada se deben considerar los siguientes parámetros, determinados para convección natural aplicada a un cilindro largo horizontal:

$$\overline{Nu}_D = \frac{hD}{k} \quad \text{Ecuación 2-6}$$

$$Ra_D = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)D^3}{\nu\alpha} \quad \text{Ecuación 2-7}$$

$$\overline{Nu}_D = \left\{ 0.60 + \frac{0.387 Ra_D^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{8/27}} \right\}^2 \quad \text{Ecuación 2-8}$$

Dónde:

\overline{Nu}_D : Número de Nusselt promedio sobre toda la circunferencia de un cilindro isotérmico.

k : Conductividad Térmica.

h : Coeficiente de transferencia de calor por convección

D : Diámetro del cilindro.

Ra : Número de Rayleigh.

g : Gravedad.

T_s : Temperatura de la superficie.

T_∞ : Temperatura del fluido suficientemente alejado de dicha superficie.

ν : Viscosidad Cinemática.

α : Difusividad Térmica.

β : Coeficiente de expansión volumétrica.

Pr : Número de Prandtl.

Tabla 2-3. Orden de magnitud de coeficientes de transferencia de calor por convección h.

Fluido	Coeficiente de transferencia de calor por convección	
	W/m ² K	Btu/h ft ² °F
Aire, convección libre	6–30	1–5
Vapor o aire sobrecalentado, convección forzada	30–300	5–50
Aceite, convección forzada	60–1800	10–300
Agua, convección forzada	300–18000	50–3000
Agua, en ebullición	3000–60000	500–10000
Vapor, condensándose	6000–120000	1000–20000

Fuente: FRANK KREITH, Principios de Transferencia de Calor.

2.3.11.3 Por radiación.

El calor también se puede transferir a regiones donde existe el vacío perfecto. En este caso, el mecanismo es la radiación electromagnética.

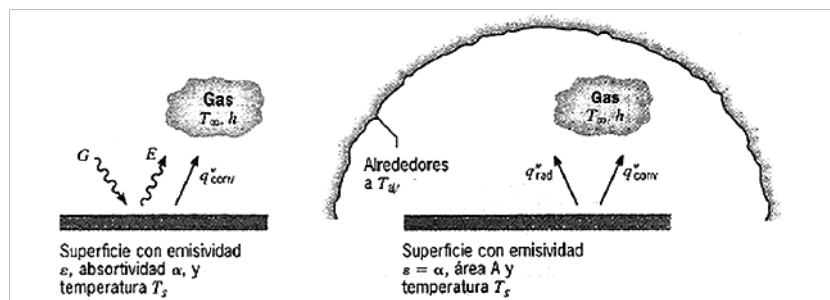


Ilustración 2-9. Intercambio de radiación.

Fuente: HOLMAN, J. P, Transferencia de calor.

“Consideraciones termodinámicas muestran que un radiador ideal, o cuerpo negro, emitirá energía a una rapidez proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo. Cuando dos cuerpos intercambian calor por

radiación, el intercambio de calor neto es entonces proporcional a las diferencias en T^4 . (Holman, J. P., 1999). Así:

$$\dot{Q}_{RAD} = \varepsilon \sigma A_S (T_S^4 - T_\infty^4) \quad \text{Ecuación 2-9}$$

De forma análoga a la convección, se modela el coeficiente de transferencia de calor por radiación, sin embargo h_r (INCROPERA, F, 1996) depende marcadamente de la temperatura, y se determina por medio de la siguiente expresión:

$$h_r = \varepsilon \sigma A_S (T_S + T_\infty) (T_S^2 + T_\infty^2) \quad \text{Ecuación 2-10}$$

Dónde:

h_r : Coeficiente de transferencia de calor.

ε : Emisividad.

σ : Constante de Stefan Boltzman.

A_S : Área de transferencia de energía.

T_S : Temperatura de la superficie.

T_∞ : Temperatura del fluido suficientemente alejado de dicha superficie.

ν : Viscosidad Cinemática.

2.3.12 Aire atmosférico.

El aire atmosférico contiene normalmente cierta cantidad de vapor de agua (o *humedad*), por lo que es conveniente tratarlo como una mezcla de vapor de agua y aire seco porque la composición del aire seco permanece relativamente constante, pero la cantidad de vapor de agua varía por la condensación y evaporación de los océanos, lagos, ríos, etc.

2.3.13 Características del aire atmosférico.

2.3.13.1 Humedad absoluta o específica (ω).

Es la relación de humedad, que corresponde directamente la masa de vapor de agua presente en una unidad de masa de aire seco.

$$\omega = 0,622 \frac{P_v}{P_a} \quad \text{Ecuación 2-11}$$

Dónde:

P_v : Presión de vapor de agua.

$$P_v = \phi \cdot P_{sat@T} \quad \text{Ecuación 2-12}$$

P_a : Presión de aire seco.

$$P_a = P_{atm} - P_v \quad \text{Ecuación 2-13}$$

2.3.13.2 Humedad relativa (ϕ o HR).

Representa el cociente entre la cantidad de vapor de agua real del aire y la cantidad que tendría si estuviese saturado de humedad (HR=100 %).

2.3.13.3 Presión.

Es una magnitud definida como la fuerza por unidad de área, ejercida por un fluido, un líquido o un gas sobre cualquier superficie.

$$P_{atm} = P_a + P_v \quad \text{Ecuación 2-14}$$

2.3.13.4 Entalpía del aire.

Es la magnitud que caracteriza el contenido energético total del aire por unidad de masa. La entalpía total del aire atmosférico es la suma de las entalpías del aire seco y del vapor de agua:

$$h = h_a + h_v = CpT + \omega h_g \quad \text{Ecuación 2-15}$$

Donde:

h_a : Entalpía del aire seco [kJ/kg]

h_v : Entalpía del vapor de agua [kJ/kg]

2.3.14 Calidad.

La gestión de calidad del producto incluye los procesos requeridos para asegurar que satisfaga todas las necesidades para las cuales se lleva a cabo.

Esto incluye todas las actividades de la función global de gestión que determinan la política de calidad, los objetivos y las responsabilidades, e implementarlas por medios tales como la planificación de la calidad, el aseguramiento de la calidad, el control de calidad y el mejoramiento de la calidad, lo que obliga a estar en un constante desarrollo.

Estos procesos interactúan unos con otros y con los procesos de las demás áreas de conocimiento también. Cada proceso puede involucrar el esfuerzo de uno o más individuos (o grupos de individuos), según sean las necesidades que se presenten.

En la actualidad ya no se puede hablar sólo de calidad del producto o servicio, sino que la nueva visión ha evolucionado hacia el concepto de la calidad total.

La calidad del producto o servicio se convierte en objetivo fundamental de la empresa; pero si bien con la visión tradicional se trataba de conseguir a través de una función de inspección en el área de producción, en el enfoque moderno la perspectiva se amplía, considerando que va a ser toda la empresa la que va a permitir alcanzar esta meta, primordialmente a través de la prevención. Según esta nueva visión, podrá mejorar la calidad del producto o servicio si mejora la calidad global de la empresa, es decir, si ésta se convierte en una organización de calidad. (Juan José Tarí Guilló, 2003).

2.3.15 Planificación de la calidad.

Con la finalidad de mejorar continuamente la calidad, la dirección planifica qué se va a hacer, es decir, determina objetivos, políticas, estrategias y desarrolla una organización de calidad, que implica la existencia de un liderazgo, una cultura de calidad, y una adecuada administración de los recursos humanos y demás recursos en general.

Todo ello para elaborar bienes o servicios que satisfagan las necesidades y expectativas de los clientes (precio, rapidez, servicio posventa, etc.).

Además planificar la calidad significa identificar cuáles son las normas relevantes para el producto y determinar la forma cómo satisfacerlas.

2.3.16 Control de la calidad.

Es posible definir el control de calidad como el proceso de evaluación de desviaciones de un proceso o producto y la solución de las mismas mediante acciones correctoras para el cumplimiento de los objetivos de calidad, esto implica:

- La evaluación del comportamiento real, es decir, de los resultados de calidad que han sido previamente establecidos en la planificación de la calidad.
- Comparación del comportamiento real con los objetivos de calidad.
- Actuación sobre las diferencias que existan.

Como consecuencia, el control de calidad no sólo es inspección, sino que se relaciona con su significado universal, por lo que aunque la inspección es una forma de realizarlo, su significado es mucho más amplio. En este sentido, sólo con un decidido esfuerzo encaminado a controlar la calidad en toda la organización se puede asegurar la eficacia competitiva (Leonard y Sasser, 1983; 6).

2.3.17 Polimetilmetacrilato (PMMA).

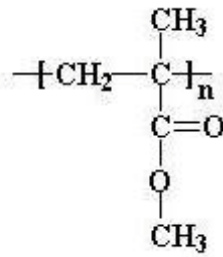


Ilustración 2-10. Composición química del PMMA.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

El polimetilmetacrilato o metacrilato, también conocido por sus siglas PMMA, es un acrílico que se obtiene de la polimerización del metacrilato de metilo. Compite en cuanto a aplicaciones con otros plásticos como el policarbonato (PC) o el poliestireno (PS), pero el acrílico se destaca frente a otros plásticos transparentes en cuanto a resistencia a la intemperie y transparencia, comúnmente usado como reemplazo del vidrio.

El metacrilato presenta gran resistencia al ataque de muchos compuestos pero es afectado por otros, entre ellos: Acetato de etilo, acetona, ácido acético glacial, ácido sulfúrico bicromático, alcohol amílico, benzol, butanol, diclorometano, triclorometano (cloroformo), tolueno.

Es de fácil combustión, no se apaga al ser retirado del fuego. Sus gases tienen olor afrutado y crepita al arder. No produce ningún gas tóxico al arder por lo que lo podemos considerar un producto muy seguro para elementos próximos a las personas al igual que la madera.

El PMMA se utiliza para vidrios de aviones y barcos, en la industria del automóvil, tragaluces, iluminación exterior, anuncios luminosos. Otros incluyen lentes de los pilotos, protecciones de seguridad, y en aplicaciones múltiples, como señalización, cartelería o expositores.

2.3.18 PMMA isotáctico, sindiotáctico o atáctico.

La ordenación de los monómeros, su secuencia y disposición lineal o entrecruzada, las imperfecciones de las cadenas y ramificaciones y la morfología cristalina o vítrea son factores de importancia para determinar la mayor o menor estabilidad del polímero cuando es sometido a fricciones, rozamientos y a la acción del calor, del agua y de la luz, y así conocer su vigencia o tiempo de permanencia en ambientes agresivos. Los polímeros isotácticos (polimerización regular presentando una sola secuencia ordenada) son estables, e incluso cristalinos a temperatura ambiente. Los polímeros sindiotácticos, menos estables, de consistencia vítrea o semicristalina, forman una cadena regular de secuencia ordenada pero alternada. Finalmente los polímeros atácticos de secuencia monomérica aleatoria son los más fácilmente degradables en los procesos de transformación. (<http://www.insht.es-DEFINICIONES>, 2014).

2.3.19 Artículos publicitarios producidos en lámina acrílica.



Ilustración 2-11. Variedad de geometrías obtenidas por dobleces.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.



Ilustración 2-12. Artículos publicitarios producidos en serie.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.



Ilustración 2-13. Mostradores fabricados de una sola pieza, por medio del doblado con calentamiento lineal.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

2.3.20 Sistemas de calentamiento en placas de gran tamaño.

2.3.20.1 Calentamiento por contacto.

El método más rápido de calentamiento, es colocar la hoja de acrílico íntimamente en contacto con una placa caliente de metal. Se usa especialmente para la producción en masa de artículos pequeños y delgados.

2.3.20.2 Calentamiento por inmersión.

Este método consiste en sumergir la lámina en algún líquido que transfiera el calor lo más uniforme posible y rápidamente, pero su uso está restringido al moldeo de partes con láminas muy grandes o muy gruesas, ya que la manipulación y la limpieza de la pieza es difícil.

2.3.20.3 Calentamiento por convección.

Los hornos con convección de aire son ampliamente usados, porque proveen un calentamiento uniforme y pueden, en cierto grado, secar algunos materiales que contengan cierto porcentaje de humedad. Estos hornos proveen un gran margen de seguridad con respecto a las variaciones en tiempo de los ciclos de termoformado.

2.3.20.4 Con soporte de desbaste o ranurado.

Las ranuradoras portátiles se usan para refinar las orillas de piezas planas o formadas, sobre todo cuando la pieza es demasiado grande o difícil de manejar, además se las utiliza para reducir la sección del espesor con lo que se facilita el proceso de calentamiento y posterior doblado.

Las ranuradoras deben tener una velocidad mínima de huso, sin carga de 10,000 rpm e incluso son deseables velocidades mayores. Las cortadoras dobles, de estría recta, con diámetro de 8 a 12.8 mm (5/16 a 1/2 pulg.) producen los cortes más lisos a esta velocidad. Hay que mantener afilados los cortadores, el ángulo de libramiento posterior debe ser de 10° y el ángulo de inclinación positivo de 15°. Para guiar la ranuradora debe proporcionarse de plantillas. (Guía de Maquinado Plexiglas, 2009).

Se debe tener especial cuidado al momento de desplazar la herramienta sobre las piezas de lámina acrílica ya que se pueden presentar rayones o incrustaciones indeseables.

2.3.21 Defectología en el doblado de la lámina acrílica.

Existen varias formas de evidenciar los defectos, luego de haber aplicado un mal proceso de doblado, como por ejemplo:

- Burbujas (Al calentar demasiado la lámina).
- Craqueo o Grietas.
- Esquinas de espesor delgado en formados de profundidad.
- Mala apariencia de la superficie de la pieza (coloraciones no deseadas).
- Pequeñas arrugas o marcas circulares, etc.

Para complementar este aspecto se dispone de las tablas detalladas en el anexo 10.

2.4 HIPÓTESIS.

La aplicación de temperatura y tiempos de exposición adecuados y controlados, a través del sistema de calentamiento eléctrico por convección, permitirá tener un 90% de artículos publicitarios aceptables, en comparación al sistema de calentamiento por conducción actual.

2.5 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS.

V.I. : Temperatura y tiempos de exposición adecuados y controlados.

V.D. : 90% de artículos publicitarios aceptables, en comparación al sistema de calentamiento por conducción actual.

TÉRMINO DE RELACIÓN

Permitirá tener

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE

El proyecto se fundamentó en la búsqueda de la comprensión de los hechos productivos, que evidencian la mala calidad actual de las piezas dobladas y la pérdida de tiempo en el proceso, constituyéndose en un enfoque cuali-cuantitativo, ya que al mismo tiempo es necesario buscar las causas y la explicación de los aspectos relacionados con el proceso (calentamiento por convección), así como también investigar sobre mediciones de tiempos, temperaturas, y flujos o velocidades de aire, para interpretar los resultados, y llegar a un equilibrio entre dichos factores.

3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1 Modalidad.

Las modalidades de la investigación empleadas en el desarrollo del proyecto son:

Por el objetivo, corresponde a una investigación aplicada, ya que a través de la misma, se buscan los factores que inciden en la calidad del producto final, para luego aplicar los resultados en la solución de dicho problema, que podría basarse en la implementación de una guía de trabajo para el mejoramiento del proceso de doblado.

De acuerdo al lugar de investigación, es de laboratorio, porque se hace imprescindible la utilización de materiales y equipos que sólo un ambiente así los posee, y también porque se necesitan los fundamentos teóricos que la biblioteca brinda, para analizar correctamente los datos obtenidos.

3.2.2 Niveles de investigación.

En el primer nivel de investigación se aplicó un modelo exploratorio, el cual permitió generar una hipótesis tentativa del problema, cuyas variables son la tecnología, información técnica y los procesos, para la sustitución de métodos manuales u obsoletos, en una línea de producción de artículos publicitarios; mediante un estudio poco estructurado se sondeó el problema y que como resultado, permitió obtener una visión de mayor amplitud para así proponer tentativamente el diseño de un medio informativo para dar solución al mismo.

En el segundo nivel se obtuvo una mejor apreciación del problema y un mayor conocimiento gracias al cual se hizo posible dar solución al problema existente en el desarrollo del proceso de doblado del acrílico, valiéndose de datos de tiempos tomados al aplicar los métodos manuales, en relación a los tipos de mecanismos analizados en el marco teórico, para así poder optimizar el proceso y aumentar la calidad del mismo.

En el tercer nivel de la investigación se realizó una medición experimental de las variables, modificando las temperaturas y tiempos de exposición, para conseguir la mayor cantidad de placas con doblados de calidad.

En el cuarto nivel de investigación se realizó un estudio altamente controlado para poder concluir con valores fijos, que definan la calidad del doblado, y sirvan como una matriz de operación.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.

3.3.1 Población.

En esta investigación la población está definida por las probetas de acrílico de 2, 3, 4 y 5mm de espesor, que equivalen a 3 m² de planchas, en una producción mensual de artículos publicitarios, además se deben considerar varias combinaciones de parámetros en las que se puede desarrollar el calentamiento de las placas estudiadas.

3.3.2 Muestra.

La muestra está representada por la siguiente tabla, la cual esquematiza las pruebas a realizarse y la fluctuación de parámetros uno en función del otro.

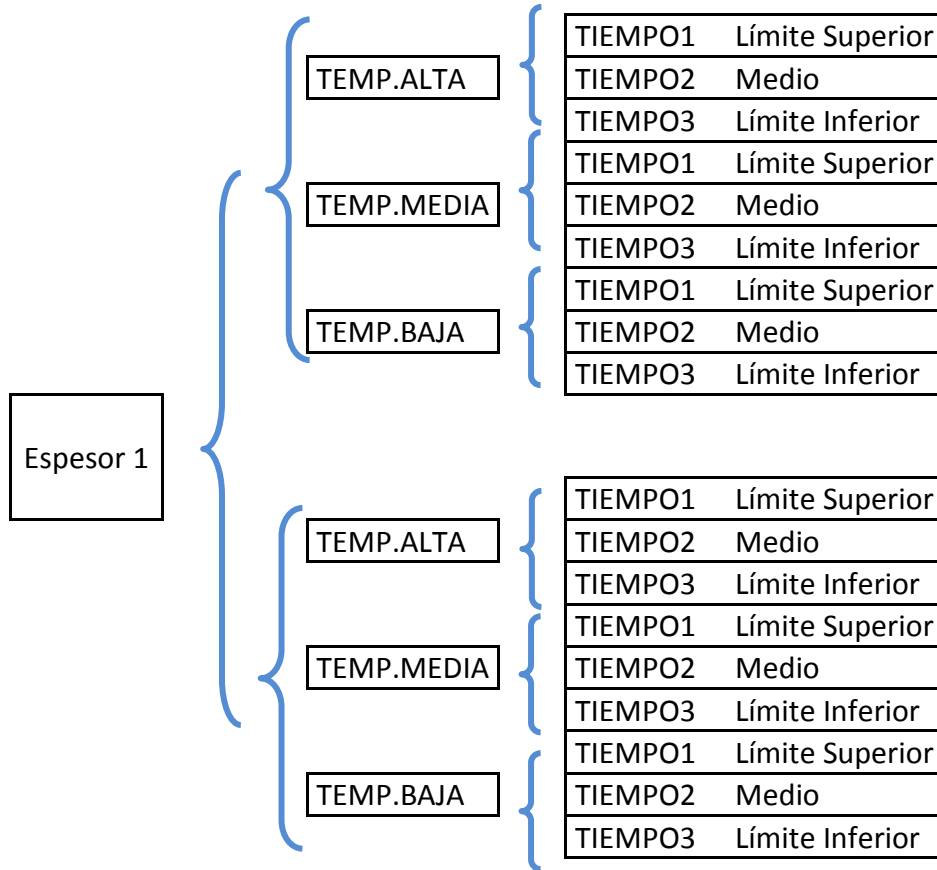


Ilustración 3-1.- Esquema para determinar la muestra del ensayo.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Este esquema será aplicado para cada uno de los espesores planteados en la población, con un total de 120 probetas, 108 para pruebas con las condiciones controladas y 12 para determinar los defectos del sistema actual, así:

Tabla 3-1. Unidades de observación.

Descripción	Cantidad
Empresa MORCE Diseño y Publicidad	1
Piezas de PMMA de hasta 5mm de espesor	120
Variación de parámetros en prototipo	2

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.4.1 Variable independiente:

Aplicación de temperatura y tiempos de exposición, adecuados y controlados.

Tabla 3-2.- Operacionalización de la variable independiente.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
<p>La relación temperatura-tiempo de exposición, es el parámetro más importante en el termoformado del PMMA.</p> <p>Un aumento en la temperatura acelera el movimiento molecular y todos los procesos viscoelásticos, incluso barridos de tiempo a T constante, dan lugar a cambios drásticos en las propiedades reológicas del polímero.</p>	Temperatura	Alta	200 ^o C	Bibliografía. Experimentación
		Media	150 ^o C	
		Baja	100 ^o C	
	Tiempo de Exposición	Elevado	5 minutos	Observación.
		Medio	2 minutos	
		Bajo	0,5 minutos.	

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

3.4.2 Variable dependiente:

Artículos publicitarios aceptables, en comparación al sistema de calentamiento por conducción actual.

Tabla 3-3.- Operacionalización de la variable dependiente.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
Artículos publicitarios aceptables son aquellos que están directamente ligados a la mejora de la “calidad” de la empresa que los produce, direccionándose a la prevención y erradicación de la defectología que se desarrolla en el proceso de calentamiento y conformado.	Agrietamiento (Craqueo)	Normal Excesivo	Visible con luz (Acercamiento) Muy notorio	Ficha de Observación Fotografía digital. Lista de Chequeo.
	Exposición al Calor.	Baja Elevada	Sin coloración. Coloración (Quemadura, ampollas o burbujas)	
	Distorsión	Baja Elevada	Desviación de 1mm por 10cm de longitud. Mayor a 2,5mm por 10 cm de longitud	

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

3.5 PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.

Preguntas Básicas	Explicación
1. ¿Por qué?	Para alcanzar los objetivos planteados.
2. ¿De qué personas u objetos?	Láminas de PMMA Acrilux específicamente, de 2 a 5mm de espesor.
3. ¿Sobre qué aspectos?	Temperatura y tiempo de exposición en el calentamiento.
4. ¿Quién o quiénes?	David Peñaloza.
5. ¿Cuándo?	Desde Marzo del 2013.
6. ¿Dónde?	Instalaciones de la empresa MORCE.
7. ¿Cuántas veces?	Las técnicas e instrumentos se aplicarán una sola vez excepto la observación, ya que se desarrollará de forma continua.
8. ¿Qué técnicas de recolección?	Observación, lectura de medidas de tiempo y temperatura.
9. ¿Con qué?	Por medio de un banco de pruebas con características semejantes a las de la ilustración 3-2, ficha de observación e inspección, cuaderno de notas.
10. ¿En qué situación?	En el instante en que se esté desarrollando el proceso de calentamiento, ya que es el aspecto crítico en la investigación.

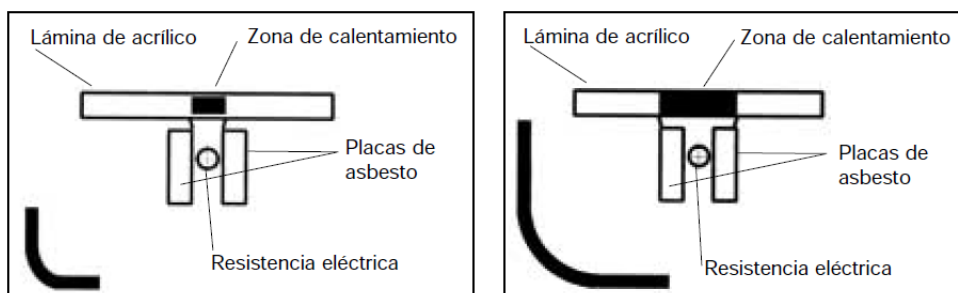


Ilustración 3-2. Esquema del prototipo de calentador.

Fuente: Manual de Termoformado PLASTIGLAS SA.

3.6 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.

Para el procesamiento de los datos obtenidos, se realizó un análisis experimental, tomando medidas de temperaturas y tiempos de exposición, con una potencia del calentador controlada (100W), para a través de los medios como el análisis visual y la fotografía digital comprobar la disminución de la defectología que se obtiene en el sistema actual, inspeccionando cada probeta y registrándola en la lista de chequeo.

Dicha información se organizó en tablas de frecuencia (dando una calificación a cada caso para cuantificar el análisis visual) para ser tabuladas y verificar la relación que guarda con las diversas partes de la investigación, principalmente con los objetivos y el cumplimiento de la hipótesis.

Por medio de un gráfico de barras que resume los resultados del análisis visual para cada espesor de placa, se concluyeron las relaciones tiempo – temperatura válidas e incorrectas, en el proceso de calentamiento, aclarando el modelo a seguir en la guía de trabajo.

Para comprobar la validez de los datos que satisfacen la hipótesis de una forma técnica, se desarrollaron varias simulaciones térmicas a la par de las condiciones reales, para determinar si existe una diferencia significativa entre los datos teóricos y los obtenidos en el ensayo experimental, de esa manera se elaboraron gráficos de dispersión con las líneas de tendencia que originan los datos, y así comprender el modelo matemático de calentamiento al que responde cada placa.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

4.1.1 Determinación de los defectos a inspeccionar, a partir del análisis del sistema actual de calentamiento.

Una vez evaluado el sistema de calentamiento por conducción actual, se obtuvieron los siguientes resultados:

- El sistema alcanza una temperatura máxima de 215 °C, en 22 minutos, es decir, la puesta en marcha del calentador es relativamente lenta, pero en este caso puede ser mejorada.
- Según transcurría el tiempo de funcionamiento, se dieron variaciones de temperatura con gradientes de hasta 20°C, lo que califica al sistema como impreciso, afectando directamente la calidad del producto final, ya que el tiempo de exposición del material se extendía, de tal forma, que la probeta presentaba burbujas o ampollas, quemaduras parciales y zonas muy brillantes.
- El calentador, a mas de presentar los problemas anteriormente descritos, no entrega de manera uniforme la transferencia de calor, por lo que, en las probetas estudiadas (placas acrílicas blanca y transparente con los espesores planteados), se consiguieron distorsiones de hasta 2,5mm a lo largo del dobléz, mayores a la tolerancia asumida en la operacionalización de variables, de 1mm en 100mm de longitud, determinando así un dobléz de calidad deficiente.

El tiempo de exposición para la probeta de PMMA de 4 mm de espesor fue de 5 minutos a 215 °C, tiempo que se pretende mejorar.

Se enlistan de esta manera 8 defectos en función del estudio descrito anteriormente, muy importantes en el impacto visual de las probetas analizadas, que se incluyen en la lista de chequeo y se disponen de la siguiente forma:

1. Presencia de ampollas o burbuja.

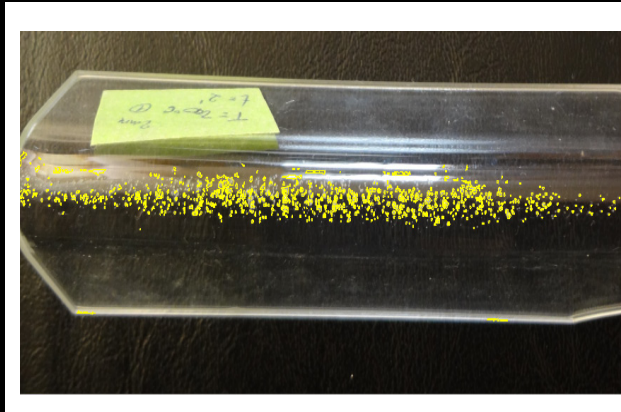
Aparece considerablemente cuando se somete la probeta a una temperatura muy alta, o si el tiempo de exposición es de igual manera elevado.



Ilustración 4-1. Ampollas.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-1. Medición del defecto de ampollas.

	Característica	Medida
	Área promedio por ampolla	0,43mm ²
	Área total con daño (1024 ampollas)	440,32mm ²
	Porcentaje de daño	73,38%

Fuente: Digimizer, programa de análisis de fotografías.

2. Cambio de color

Representa en sí, un sobrecalentamiento del elemento expuesto (Quemadura), se liga directamente al defecto anterior.

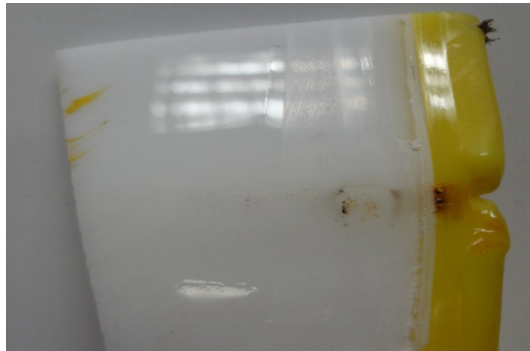
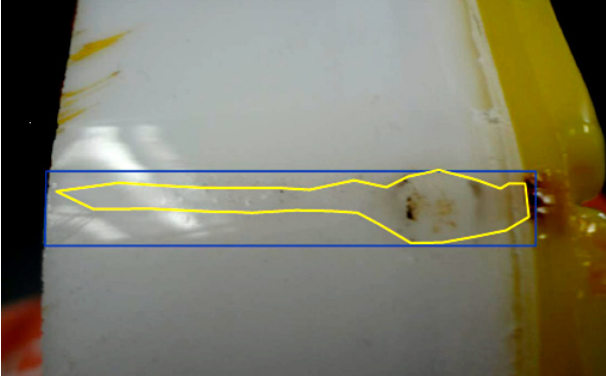


Ilustración 4-2. Cambio de color por quemadura.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-2. Medición del defecto de quemadura.

	Característica	Medida
Área de calentamiento (■)	246,77mm ²	
Área quemada (■)	107,46mm ²	
Porcentaje de daño	46,55%	

Fuente: Digimizer, programa de análisis de fotografías.

3. Líneas o zonas brillantes

Constituyen la región térmicamente afectada, es una característica que está casi siempre presente en las probetas.

4. Craqueo (agrietamiento)

Generalmente producido por la falta de calentamiento de la probeta, son fallas internas que representan el estado vítreo en que se encuentra aún en ese instante.



Ilustración 4-3. Craqueo y agrietamiento.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-3. Medición del defecto de agrietamiento.

	Característica	Medida
	Longitud (AB)	18,25mm
	Longitud (CD)	1,85mm
	Área de la grieta	18,34mm ²
Perímetro	38,06mm	

Fuente: Digimizer, programa de análisis de fotografías.

5. Dificultad para el doblado

Representa la reacción ante la fuerza, que se aplica para conformar el doblado de la probeta.

6. Deformación de bordes

Comúnmente por no respetar el sentido correcto para el doblado, o por falta de calentamiento de la placa a través de todo su espesor.

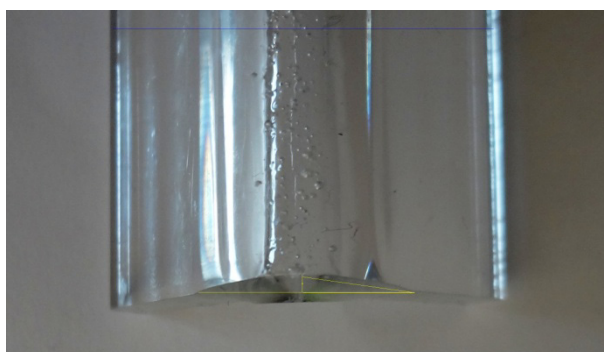


Ilustración 4-4. Bordes deformados.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-4. Medición del defecto de bordes deformados.

	Característica	Medida
	Longitud (AB)	18,34mm
	Ángulo de distorsión (ABC)	8,13°
	Separación al eje central (CD)	1,28mm

Fuente: Digimizer, programa de análisis de fotografías.

7. Marcas de esfuerzo

Son líneas visibles al ojo humano, a lo largo de la zona calentada y doblada. Cuando el acrílico está en estado vítreo y se lo somete a un esfuerzo de flexión, lo suficientemente alto para romperlo, presenta dichas marcas.

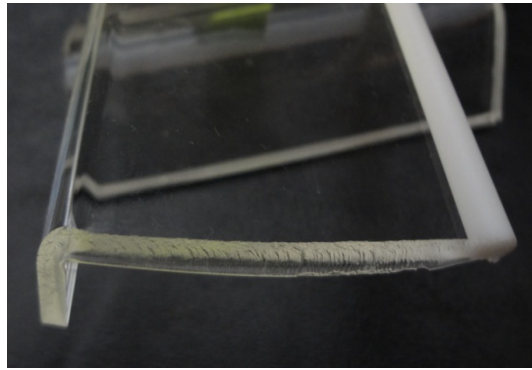


Ilustración 4-5. Marcas de ruptura, líneas de falla.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

8. Distorsión o variación en el pando de la placa

Denota la irregularidad o curvatura longitudinal de la arista producida en el doblado, como se indicó en la operacionalización de variables, por cada 10cm de longitud se conserva en los siguientes rangos:

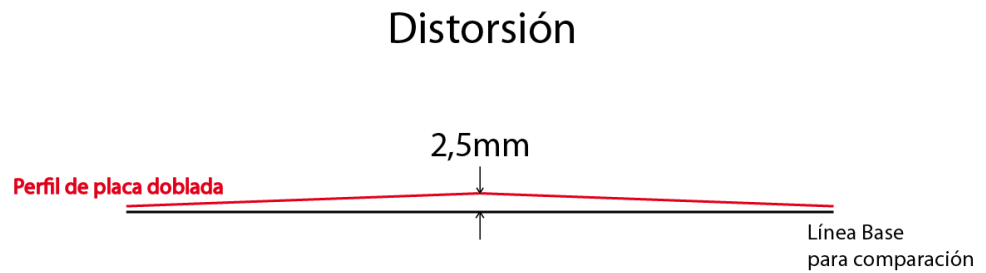


Ilustración 4-6. Diagrama de distorsión en el doblado.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-5. Medición del defecto de distorsión.

	Característica	Medida
	Longitud (AB)	210mm
	Ángulo de distorsión (ABC)	2,88°
	Separación al eje central (CD)	5,32mm

Fuente: Digimizer, programa de análisis de fotografías.

El diagrama anterior se elaboró a partir de la reproducción de la línea de doblez, que se forma en el artículo analizado.

Para el reconocimiento de dicho defecto en la lista de chequeo se da a conocer los siguientes valores:

- **Distorsión > 2 mm** **Alta**
- **Distorsión entre 2 y 1 mm** **Media**
- **Distorsión < 1 mm** **Baja**

4.1.2 Criterios de aceptabilidad.

La inspección de cada probeta, se realizó bajo los requerimientos de calidad de la empresa, recalcando la estética visual del elemento analizado, mas allá de sus propiedades mecánicas.

Cada defecto se identifica en las columnas: **A** (Alto), **M** (Medio o moderado) y **N** (Bajo o nulo), que representan las siguientes calificaciones cualitativas, referentes a la calidad esperada:

- **PÉSIMA**
 - Si la sumatoria de defectos en A está entre 5 y 8.
- **NO ACEPTABLE**
 - Si la zona media-alta es predominante (Si $\sum A$ y $\sum M$ está entre 2 y 4).
- **ACEPTABLE**
 - Cuando se presentan máximo 3 defectos en la zona media o moderada ($1 \leq M \leq 3$ y $5 \leq N \leq 7$) y $\sum A = 0$.
- **ÓPTIMA**
 - Si la sumatoria de defectos en N es igual a 8, ya que da a conocer que ningún defecto está presente en el examen visual, por la tanto es de óptima calidad.

Lo anterior restringe combinaciones o ingreso de datos irreales en la lista de chequeo, como por ejemplo: $\sum A=1$, $\sum M=3$ y $\sum N=4$), ya que al inspeccionar los

defectos en el orden establecido, A=1 significa que el nivel de ampollas o burbujas es alto, con lo que se reconoce que la probeta ha sido sobrecalentada, razonamiento con el cual la $\sum A$ nunca podría ser igual a 1.

Tabla 4-6. Lista de chequeo, para determinar visualmente la defectología de las probetas.

DEFECTOLOGÍA	A	M	N	Observaciones
Presencia de Ampollas o burbujas				
Cambio de color				
Líneas o zonas muy brillantes				
Craqueo (agrietamiento)				
Dificultad para doblado				
Deformación de bordes				
Marcas de sobre esfuerzo				
Distorsión o variación en el pando de la placa				
SUMA	0	0	0	

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

4.2 INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS.

Para cada caso de estudio se aplicaron 3 muestras y se desarrolló como indican las tablas descritas a continuación.

4.2.1 Estudio de calentamiento en probetas de 2mm de espesor.

Tabla 4-7. Lista de chequeo para una condición de T=100 °C y tiempo de exposición= 5 min. (2mm).

DEFECTOLOGÍA	A	M	N	Observaciones
Presencia de Ampollas o burbujas			X	
Cambio de color			X	
Líneas o zonas muy brillantes		X		
Craqueo (agrietamiento)			X	
Dificultad para doblado		X		
Deformación de bordes		X		
Marcas de sofreesfuerzo			X	
Distorsión o vaiación en el pandeo de la placa			X	
SUMA	0	3	5	

ALTO	0,0%
MEDIO	37,5%
NULO	62,5%
TOTAL	100%

ALTO - MEDIO	37,5%
MEDIO-NULO	100,0%

CALIDAD	ACEPTABLE
---------	-----------

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-8. Lista de chequeo para una condición de T=100 °C y tiempo de exposición= 2 min. (2mm).

DEFECTOLOGÍA	A	M	N	Observaciones
Presencia de Ampollas o burbujas			x	
Cambio de color			x	
Líneas o zonas muy brillantes			x	
Craqueo (agrietamiento)		x		
Dificultad para doblado		x		
Deformación de bordes		x		
Marcas de sofreesfuerzo		x		
Distorsión o vaicación en el pandeo de la placa			x	
SUMA	0	4	4	

ALTO	0,0%
MEDIO	50,0%
NULO	50,0%
TOTAL	100%

ALTO - MEDIO	50,0%
MEDIO-NULO	100,0%

CALIDAD	NO ACEPTABLE
---------	--------------

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-9. Lista de chequeo para una condición de T=100 °C y tiempo de exposición= 0,5 min. (2mm).

DEFECTOLOGÍA	A	M	N	Observaciones
Presencia de Ampollas o burbujas			X	
Cambio de color			X	Tiempo muy bajo para este valor de temperatura
Líneas o zonas muy brillantes			X	
Craqueo (agrietamiento)	X			
Dificultad para doblado	X			
Deformación de bordes	X			
Marcas de sofreesfuerzo	X			
Distorsión o vaicación en el pandeo de la placa	X			
SUMA	5	0	3	

ALTO	62,5%
MEDIO	0,0%
NULO	37,5%
TOTAL	100%

ALTO - MEDIO	62,5%
MEDIO-NULO	37,5%

CALIDAD	PÉSIMA
---------	--------

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-10. Listado General de resultados para pruebas en placas de 2mm de espesor.

Espesor	Temperatura	Tiempo	Calidad
2 mm	100 °C	5 min	ACEPTABLE
			ACEPTABLE
			ACEPTABLE
		2 min	NO ACEPTABLE
			NO ACEPTABLE
			NO ACEPTABLE
		0,5 min (30 seg)	PÉSIMA
			PÉSIMA
			PÉSIMA
	150 °C	5 min	NO ACEPTABLE
			NO ACEPTABLE
			NO ACEPTABLE
		2 min	ACEPTABLE
			ACEPTABLE
			ACEPTABLE
		0,5 min (30 seg)	NO ACEPTABLE
			NO ACEPTABLE
			NO ACEPTABLE
200 °C	5 min	PÉSIMA	
		PÉSIMA	
		PÉSIMA	
	2 min	NO ACEPTABLE	
		NO ACEPTABLE	
		NO ACEPTABLE	
	0,5 min (30 seg)	ACEPTABLE	
		ACEPTABLE	
		ACEPTABLE	

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

La temperatura de 100°C, afecta positivamente a las probetas con tiempos de exposición iguales a 5 minutos, pero aún se obtiene, en un rango moderado (medio-nulo), ciertos aspectos de defectología, que sin tener la mayor influencia afectan la calidad esperada.

Al exponer las probetas a la misma temperatura, pero a tiempos de exposición menores como es el caso de 2 y 0,5 minutos, crece la fuerza que se aplica doblar la placa, es decir no se calienta lo suficiente. Como un dato particular sólo se logró doblar aproximadamente 20 grados sin craquear por completo las probetas.

En el rango de pruebas siguiente, se determina que una temperatura de 150°C es aplicable para obtener un buen doblado, acorde al planteamiento de calidad, presentándose grados medios-nulos de defectología y se mejora el tiempo de exposición a 2 minutos, en comparación al ensayo anterior de 5 minutos a T=100°C, permitiendo mejorar a la vez la rapidez del proceso de calentamiento en un 250%, manteniendo los parámetros de calidad.

Con una temperatura de 200°C y tiempos mayores o iguales a 2 minutos, las probetas sufren daños importantes como la aparición de ampollas, quemaduras, y zonas muy brillantes, lo que no satisface la exigencia de calidad establecida, debido a la alta temperatura se determinó que al minuto 1:36 se originan las ampollas con media rapidez, lo cual demuestra que 5 minutos es demasiado tiempo de exposición para dicha temperatura.

A los 30 segundos de exposición y T=200°C, se obtuvieron resultados totalmente satisfactorios. En comparación a las pruebas anteriores, con estos parámetros, el sistema sería mucho más eficiente y rápido (mejorándose en un 500%).

4.2.2 Estudio de calentamiento en probetas de 3mm de espesor.

Tabla 4-11. Lista de chequeo para una condición de T=100 °C y tiempo de exposición= 5 min. (3mm).

DEFECTOLOGÍA		A	M	N	Observaciones
Presencia de Ampollas o burbujas				X	
Cambio de color				X	
Líneas o zonas muy brillantes			X		
Craqueo (agrietamiento)				X	
Dificultad para doblado			X		
Deformación de bordes			X		
Marcas de sofreesfuerzo				X	
Distorsión o vaiación en el pandeo de la placa				X	
SUMA		0	3	5	

ALTO	0,0%
MEDIO	37,5%
NULO	62,5%
TOTAL	100%

ALTO - MEDIO	37,5%
MEDIO-NULO	100,0%

CALIDAD	ACEPTABLE
---------	-----------

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-12. Lista de chequeo para una condición de T=100 °C y tiempo de exposición= 2 min. (3mm).

DEFECTOLOGÍA	A	M	N	Observaciones
Presencia de Ampollas o burbujas			X	Disminuye parcialmente el espesor en el área doblada
Cambio de color			X	
Líneas o zonas muy brillantes		X		
Craqueo (agrietamiento)		X		
Dificultad para doblado		X		
Deformación de bordes		X		
Marcas de sofreesfuerzo		X		
Distorsión o vaicación en el pando de la placa		X		
SUMA	0	6	2	

ALTO	0,0%
MEDIO	75,0%
NULO	25,0%
TOTAL	100%

ALTO - MEDIO	75,0%
MEDIO-NULO	100,0%

CALIDAD	NO ACEPTABLE
---------	--------------

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-13. Lista de chequeo para una condición de T=100 °C y tiempo de exposición= 0,5 min. (3mm).

DEFECTOLOGÍA	A	M	N	Observaciones
Presencia de Ampollas o burbujas			X	Muy bajo el tiempo de exposición
Cambio de color			X	
Líneas o zonas muy brillantes			X	
Craqueo (agrietamiento)	X			
Dificultad para doblado	X			
Deformación de bordes	X			
Marcas de sofreesfuerzo	X			
Distorsión o vaicación en el pando de la placa	X			
SUMA	5	0	3	

ALTO	62,5%
MEDIO	0,0%
NULO	37,5%
TOTAL	100%

ALTO - MEDIO	62,5%
MEDIO-NULO	37,5%

CALIDAD	PÉSIMA
---------	--------

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-14. Listado General de resultados para pruebas en placas de 3mm de espesor.

Espesor	Temperatura	Tiempo	Calidad
3 mm	100 °C	5 min	ACEPTABLE
			ACEPTABLE
			ACEPTABLE
		2 min	NO ACEPTABLE
			NO ACEPTABLE
			PÉSIMA
		0,5 min (30 seg)	PÉSIMA
			PÉSIMA
			PÉSIMA
	150 °C	5 min	ACEPTABLE
			ACEPTABLE
			ACEPTABLE
		2 min	NO ACEPTABLE
			NO ACEPTABLE
			NO ACEPTABLE
		0,5 min (30 seg)	PÉSIMA
			PÉSIMA
			PÉSIMA
200 °C	5 min	PÉSIMA	
		PÉSIMA	
		PÉSIMA	
	2 min	NO ACEPTABLE	
		NO ACEPTABLE	
		NO ACEPTABLE	
	0,5 min (30 seg)	ACEPTABLE	
		ACEPTABLE	
		ACEPTABLE	

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Se obtiene un buen resultado en el calentamiento a 100 °C, con tiempo de 5 minutos, al reducir el tiempo se presentaron defectologías relacionadas al craqueo por el esfuerzo para doblar las probetas.

Con 150°C se disminuye la dificultad para el doblado, en un tiempo de 5 minutos. Al bajar dicho tiempo (2 minutos) se va presentando un nivel de craqueo relativamente alto, hasta llegar al punto (0,5 minutos) en que no se puede doblar satisfactoriamente sin dañar la placa.

Con una temperatura de 200°C y tiempos mayores o iguales a 2 minutos, las probetas se sobrecalientan, recibiendo así daños importantes, a pesar de haber incrementado el espesor a 3mm, lo que no satisface la exigencia de calidad establecida.

Al exponer las placas a un tiempo de 30 segundos, se obtuvieron mejores resultados, lo que implica una notoria mejora en la rapidez del proceso.

4.2.3 Estudio de calentamiento en probetas de 4mm de espesor.

Tabla 4-15. Lista de chequeo para una condición de T=100 °C y tiempo de exposición= 5 min. (4mm).

DEFECTOLOGÍA	A	M	N	Observaciones
Presencia de Ampollas o burbujas			X	No se presenta una transferencia de calor uniforme a través del espesor, si se conserva esta T se debería calentar en ambos lados. Arco de doblado no uniforme
Cambio de color			X	
Líneas o zonas muy brillantes		X		
Craqueo (agrietamiento)	X			
Dificultad para doblado		X		
Deformación de bordes	X			
Marcas de sofreesfuerzo		X		
Distorsión o vaiación en el pandeo de la placa		X		
SUMA	2	4	2	

ALTO	25,0%
MEDIO	50,0%
NULO	25,0%
TOTAL	100%

ALTO - MEDIO	75,0%
MEDIO-NULO	75,0%

CALIDAD	NO ACEPTABLE
---------	--------------

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-16. Lista de chequeo para una condición de T=100 °C y tiempo de exposición= 2 min. (4mm).

DEFECTOLOGÍA	A	M	N	Observaciones
Presencia de Ampollas o burbujas			X	
Cambio de color			X	
Líneas o zonas muy brillantes		X		
Craqueo (agrietamiento)		X		
Dificultad para doblado	X			
Deformación de bordes	X			
Marcas de sofreesfuerzo	X			
Distorsión o vaicación en el pandeo de la placa		X		
SUMA	3	3	2	

ALTO	37,5%
MEDIO	37,5%
NULO	25,0%
TOTAL	100%

ALTO - MEDIO	75,0%
MEDIO-NULO	62,5%

CALIDAD	NO ACEPTABLE
---------	--------------

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-17. Lista de chequeo para una condición de T=100 °C y tiempo de exposición= 0,5 min. (4mm).

DEFECTOLOGÍA	A	M	N	Observaciones
Presencia de Ampollas o burbujas			X	
Cambio de color			X	Tiempo de exposición muy bajo
Líneas o zonas muy brillantes			X	Placa ligeramente calentada
Craqueo (agrietamiento)	X			
Dificultad para doblado	X			
Deformación de bordes	X			
Marcas de sofreesfuerzo	X			
Distorsión o vaicación en el pandeo de la placa	X			
SUMA	5	0	3	

ALTO	62,5%
MEDIO	0,0%
NULO	37,5%
TOTAL	100%

ALTO - MEDIO	62,5%
MEDIO-NULO	37,5%

CALIDAD	PÉSIMA
---------	--------

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-18. Listado General de resultados para pruebas en placas de 4mm de espesor.

Espesor	Temperatura	Tiempo	Calidad
4 mm	100 °C	5 min	NO ACEPTABLE
			NO ACEPTABLE
			NO ACEPTABLE
		2 min	NO ACEPTABLE
			NO ACEPTABLE
			NO ACEPTABLE
		0,5 min (30 seg)	PÉSIMA
			PÉSIMA
			PÉSIMA
	150 °C	5 min	NO ACEPTABLE
			ACEPTABLE
			ACEPTABLE
		2 min	NO ACEPTABLE
			NO ACEPTABLE
			NO ACEPTABLE
		0,5 min (30 seg)	PÉSIMA
			PÉSIMA
			PÉSIMA
200 °C	5 min	PÉSIMA	
		PÉSIMA	
		PÉSIMA	
	2 min	NO ACEPTABLE	
		NO ACEPTABLE	
		NO ACEPTABLE	
	0,5 min (30 seg)	PÉSIMA	
		PÉSIMA	
		PÉSIMA	

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

En el bloque de pruebas considerando una $T=100^{\circ}\text{C}$, se determina que la temperatura es baja, aunque se exponga al máximo tiempo de 5 minutos, para obtener un doblez acorde al planteamiento de calidad, presentándose grados medios-altos de defectología, esto conlleva a verificar en el seguimiento de las

pruebas, la obtención de una Temperatura que mejore la situación actual de las probetas, conservando los rangos de tiempos de exposición.

En este rango de pruebas se determina que la temperatura igual a 150°C es aplicable para obtener un buen doblado, acorde al planteamiento de calidad, presentándose grados medios-nulos de defectología, debido al tiempo de exposición que resulta en este caso, relativamente bajo, por lo que en el seguimiento de las pruebas, se centra en la obtención de resultados con un incremento de temperatura, lo que facilitará la verificación de un tiempo de exposición correcto.

En esta sección de pruebas se determina que la temperatura de 200°C es aplicable, pero los tiempos de exposición experimentados denotan que para obtener un buen calentamiento, y por lo tanto placas acordes al planteamiento de calidad, debe estar en el intervalo de $0,5\text{min} < \text{tiempo de exposición} < 2 \text{ min}$ para descartar grados medios-altos en la defectología.

Desde 150°C hasta 200°C, se obtienen resultados aceptables en cuanto a la facilidad para el doblado, pero los tiempos de exposición se deberían variar en el rango establecido por el intervalo $0,5 < T \text{ Exp} < 2$ minutos, para evitar la presencia de defectos, de acuerdo a las pruebas realizadas en el último bloque.

4.2.4 Estudio de calentamiento en probetas de 5mm de espesor.

Tabla 4-19. Lista de chequeo para una condición de T=100 °C y tiempo de exposición= 5 min. (5mm).

DEFECTOLOGÍA	A	M	N	Observaciones
Presencia de Ampollas o burbujas			X	No se presenta una transferencia de calor uniforme a través del espesor
Cambio de color			X	
Líneas o zonas muy brillantes		X		Se debería calentar en ambos lados, variando el t de exposición
Craqueo (agrietamiento)	X			Arco de doblado no uniforme
Dificultad para doblado	X			Se debe aplicar una fuerza muy alta para doblar la placa.
Deformación de bordes	X			
Marcas de sofreesfuerzo	X			
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	X			
SUMA	5	1	2	

ALTO	62,5%
MEDIO	12,5%
NULO	25,0%
TOTAL	100%

ALTO - MEDIO	75,0%
MEDIO-NULO	37,5%

CALIDAD	PÉSIMA
---------	---------------

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-20. Lista de chequeo para una condición de T=150 °C y tiempo de exposición= 5 min. (5mm).

DEFECTOLOGÍA	A	M	N	Observaciones
Presencia de Ampollas o burbujas			X	
Cambio de color			X	
Líneas o zonas muy brillantes		X		
Craqueo (agrietamiento)			X	
Dificultad para doblado		X		
Deformación de bordes		X		
Marcas de sofreesfuerzo		X		
Distorsión o variación en el pandeo de la placa			X	
SUMA	0	4	4	

ALTO	0,0%
MEDIO	50,0%
NULO	50,0%
TOTAL	100%

ALTO - MEDIO	50,0%
MEDIO - NULO	100,0%

CALIDAD	NO ACEPTABLE
---------	---------------------

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-21. Lista de chequeo para una condición de T=200 °C y tiempo de exposición= 5 min. (5mm).

DEFECTOLOGÍA	A	M	N	Observaciones
Presencia de Ampollas o burbujas	x			
Cambio de color	x			Sobrecalentamiento total Ampollamiento a t=1:56 min
Líneas o zonas muy brillantes	x			Presencia de una socavadura con una penetración de un 20% del espesor
Craqueo (agrietamiento)	x			
Dificultad para doblado			x	
Deformación de bordes	x			
Marcas de sofreesfuerzo		x		
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	x			
SUMA	6	1	1	

ALTO	75,0%
MEDIO	12,5%
NULO	12,5%
TOTAL	100%

ALTO - MEDIO	87,5%
MEDIO - NULO	25,0%

CALIDAD	PÉSIMA
---------	---------------

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-22. Listado General de resultados para pruebas en placas de 5mm de espesor.

Espesor	Temperatura	Tiempo	Calidad	
5 mm	100 °C	5 min	PÉSIMA	
			PÉSIMA	
			PÉSIMA	
		2 min	PÉSIMA	
			PÉSIMA	
			PÉSIMA	
			0,5 min (30 seg)	PÉSIMA
				PÉSIMA
				PÉSIMA
	150 °C	5 min	NO ACEPTABLE	
			NO ACEPTABLE	
			NO ACEPTABLE	
		2 min	NO ACEPTABLE	
			NO ACEPTABLE	
			NO ACEPTABLE	
		0,5 min (30 seg)	PÉSIMA	
			PÉSIMA	
			PÉSIMA	
200 °C	5 min	PÉSIMA		
		PÉSIMA		
		PÉSIMA		
	2 min	PÉSIMA		
		PÉSIMA		
		PÉSIMA		
	0,5 min (30 seg)	PÉSIMA		
		PÉSIMA		
		PÉSIMA		

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Las pruebas realizadas dan a conocer lo siguiente:

Una temperatura de 100°C, no produce un calentamiento adecuado para formar un doblez de calidad, aunque se exponga al máximo tiempo considerado (5 minutos).

Para $T=150^{\circ}\text{C}$, se presenta un mejor resultado, pero no se satisfacen las condiciones de defectología, por lo que se debería considerar un mayor tiempo de exposición.

En el bloque de pruebas a $T=200^{\circ}\text{C}$, se comprueba que hay mucha temperatura para el espesor de placa estudiado, ya que el tiempo mínimo estimado en el bloque anterior correspondería a $t>5\text{min}$, por lo que se afecta con mucha importancia únicamente la superficie de la placa sin darse una transferencia uniforme a través de todo su espesor.

4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La aplicación de temperatura y tiempos de exposición, adecuados y controlados, a través del sistema de calentamiento eléctrico por convección, permitirá tener un 90% de artículos publicitarios aceptables, en comparación al sistema de calentamiento por conducción actual.

4.3.1 Análisis exploratorio de datos.

Primeramente se realiza la tabulación de los datos obtenidos como resultado de la inspección de los defectos de las probetas (frecuencia), para asignar un sistema de puntuación, en donde:

- Bajo o Nulo= 3 puntos
- Medio = 2 puntos
- Alto = 1 Punto

Cada punto asignado a estos parámetros será multiplicado por su frecuencia, para obtener la calificación de la prueba.

El máximo de puntos será de 72, basado en el número de aspectos examinados (defectos) que se van a controlar, para esto la prueba deberá obtener todos sus resultados a nivel bajo.

La prueba que más se acerque a la puntuación perfecta, es decir, que iguale o supere el 90%, será la que determina la validez de la condición tiempo-temperatura y para satisfacer la hipótesis planteada, ya que está directamente relacionada con la totalidad de probetas estudiadas por cada caso.

4.3.2 Calificación para cada condición temperatura-tiempo de exposición.

4.3.2.1 Probetas de 2mm de espesor, expuestas a T=100°C.

Tabla 4-23. Análisis a T=100°C y t=5 minutos, e=2mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	0	3	9
Cambio de color	0	0	3	9
Líneas o zonas muy brillantes	0	3	0	6
Craqueo (agrietamiento)	0	0	3	9
Dificultad para doblado	0	1	2	8
Deformación de bordes	0	3	0	6
Marcas de sobreesfuerzo	0	0	3	9
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	0	0	3	9
Puntos obtenidos				65
Porcentaje				90,28%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-24. Análisis a T=100°C y t=2 minutos, e=2mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	0	3	9
Cambio de color	0	0	3	9
Líneas o zonas muy brillantes	0	0	3	9
Craqueo (agrietamiento)	0	3	0	6
Dificultad para doblado	0	3	0	6
Deformación de bordes	0	3	0	6
Marcas de sobreesfuerzo	0	3	0	6
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	0	0	3	9
Puntos obtenidos				60
Porcentaje				83,33%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-25. Análisis a T=100°C y t=0,5 minutos, e=2mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	0	3	9
Cambio de color	0	0	3	9
Líneas o zonas muy brillantes	0	0	3	9
Craqueo (agrietamiento)	3	0	0	3
Dificultad para doblado	3	0	0	3
Deformación de bordes	3	0	0	3
Marcas de sobreesfuerzo	3	0	0	3
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	3	0	0	3
Puntos obtenidos				42
Porcentaje				58,33%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

La condición T=100°C, con t=5 minutos, valida la hipótesis debido a su alcance del 90,28%, mientras las otras dos condiciones, T=100°C - t=2 minutos y

T=100°C - t=0,5 minutos, se rechazan por su alto contenido de defectología, alcanzando los porcentajes de 83,33% y 58,33% respectivamente.

4.3.2.2 Probetas de 2mm de espesor, expuestas a T=150°C.

Tabla 4-26. Análisis a T=150°C y t=5 minutos, e=2mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	3	0	6
Cambio de color	0	0	3	9
Líneas o zonas muy brillantes	3	0	0	3
Craqueo (agrietamiento)	0	0	3	9
Dificultad para doblado	0	0	3	9
Deformación de bordes	0	3	0	6
Marcas de sobre esfuerzo	0	1	2	8
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	0	0	3	9
Puntos obtenidos				59
Porcentaje				81,94%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-27. Análisis a T=150°C y t=2 minutos, e=2mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	0	3	9
Cambio de color	0	0	3	9
Líneas o zonas muy brillantes	0	3	0	6
Craqueo (agrietamiento)	0	0	3	9
Dificultad para doblado	0	3	0	6
Deformación de bordes	0	3	0	6
Marcas de sobre esfuerzo	0	0	3	9
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	0	0	3	9
Puntos obtenidos				63
Porcentaje				87,50%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-28. Análisis a T=150°C y t=0,5 minutos, e=2mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	0	3	9
Cambio de color	0	0	3	9
Líneas o zonas muy brillantes	0	3	0	6
Craqueo (agrietamiento)	0	1	2	8
Dificultad para doblado	0	3	0	6
Deformación de bordes	1	2	0	5
Marcas de sobreesfuerzo	0	3	0	6
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	0	3	0	6
Puntos obtenidos				55
Porcentaje				76,39%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Ninguna condición cumple a satisfacción el 90% requerido, pero en el caso especial de la tabla 4-27, el error es mínimo (2,5%), debido a factores del laminado de la placa de acrílico, razón por la cual se puede considerar como una condición válida para corresponder la hipótesis.

4.3.2.3 Probetas de 2mm de espesor, expuestas a T=200°C.

Tabla 4-29. Análisis a T=200°C y t=5 minutos, e=2mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	3	0	0	3
Cambio de color	3	0	0	3
Líneas o zonas muy brillantes	3	0	0	3
Craqueo (agrietamiento)	0	0	3	9
Dificultad para doblado	0	0	3	9
Deformación de bordes	3	0	0	3
Marcas de sobreesfuerzo	0	0	3	9
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	3	0	0	3
Puntos obtenidos				42
Porcentaje				58,33%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-30. Análisis a T=200°C y t=2 minutos, e=2mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	3	0	0	3
Cambio de color	0	3	0	6
Líneas o zonas muy brillantes	0	3	0	6
Craqueo (agrietamiento)	0	0	3	9
Dificultad para doblado	0	0	3	9
Deformación de bordes	0	3	0	6
Marcas de sobreesfuerzo	0	3	0	6
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	0	3	0	6
Puntos obtenidos				51
Porcentaje				70,83%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-31. Análisis a T=200°C y t=0,5 minutos, e=2mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	0	3	9
Cambio de color	0	0	3	9
Líneas o zonas muy brillantes	0	0	3	9
Craqueo (agrietamiento)	0	0	3	9
Dificultad para doblado	0	2	1	7
Deformación de bordes	0	1	2	8
Marcas de sobreesfuerzo	0	0	3	9
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	0	0	3	9
Puntos obtenidos				69
Porcentaje				95,83%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

En este caso la condición que satisface la hipótesis es la correspondiente a la tabla 4-31, ya que alcanza un porcentaje igual al 95,83%, las demás condiciones se descartan por el bajo porcentaje alcanzado.

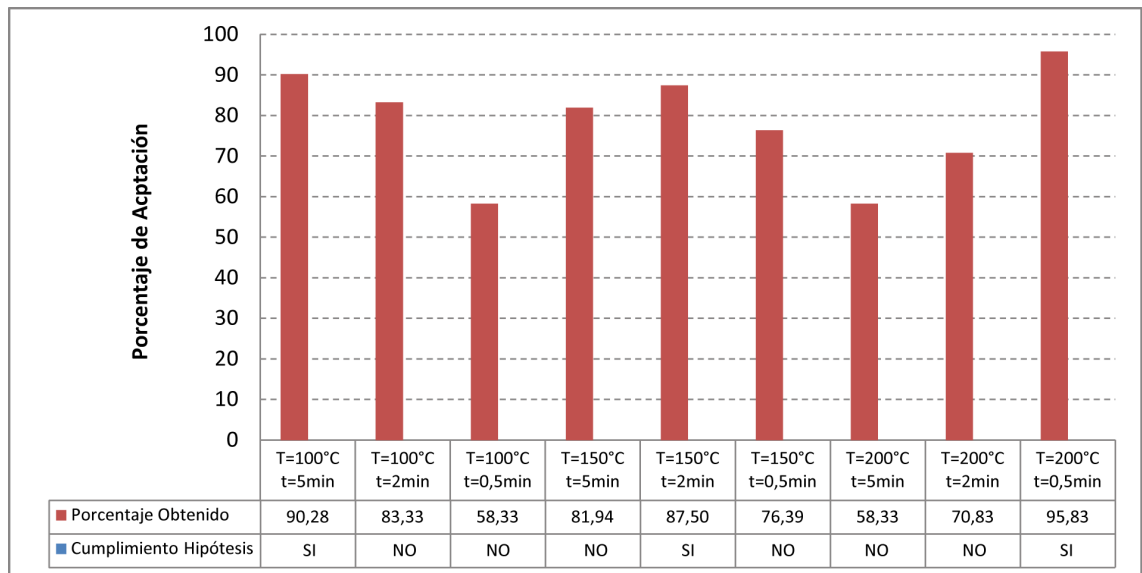


Gráfico 4-1. Porcentaje de aceptación obtenido vs. Relación Temperatura-Tiempo de exposición, para placas de 2mm de espesor.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

4.3.2.4 Probetas de 3mm de espesor, expuestas a T=100°C.

Tabla 4-32. Análisis a T=100°C y t=5 minutos, e=3mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	0	3	9
Cambio de color	0	0	3	9
Líneas o zonas muy brillantes	0	3	0	6
Craqueo (agrietamiento)	0	0	3	9
Dificultad para doblado	0	3	0	6
Deformación de bordes	0	3	0	6
Marcas de sobre esfuerzo	0	0	3	9
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	0	0	3	9
Puntos obtenidos				63
Porcentaje				87,50%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-33. Análisis a T=100°C y t=2 minutos, e=3mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	0	3	9
Cambio de color	0	0	3	9
Líneas o zonas muy brillantes	0	3	0	6
Craqueo (agrietamiento)	0	3	0	6
Dificultad para doblado	1	2	0	5
Deformación de bordes	2	1	0	4
Marcas de sobre esfuerzo	1	2	0	5
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	0	3	0	6
Puntos obtenidos				50
Porcentaje				69,44%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-34. Análisis a T=100°C y t=0,5 minutos, e=3mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	0	3	9
Cambio de color	0	0	3	9
Líneas o zonas muy brillantes	0	0	3	9
Craqueo (agrietamiento)	3	0	0	3
Dificultad para doblado	3	0	0	3
Deformación de bordes	3	0	0	3
Marcas de sobreesfuerzo	3	0	0	3
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	3	0	0	3
Puntos obtenidos				42
Porcentaje				58,33%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

A pesar de que ninguna condición llega precisamente al 90%, se acoge el caso representado por la tabla 4-32, con un 87,5%, ya que el error es mínimo.

4.3.2.5 Probetas de 3mm de espesor, expuestas a T=150°C.

Tabla 4-35. Análisis a T=150°C y t=5 minutos, e=3mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	0	3	9
Cambio de color	0	0	3	9
Líneas o zonas muy brillantes	0	3	0	6
Craqueo (agrietamiento)	0	0	3	9
Dificultad para doblado	0	0	3	9
Deformación de bordes	0	3	0	6
Marcas de sobreesfuerzo	0	0	3	9
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	0	0	3	9
Puntos obtenidos				66
Porcentaje				91,67%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-36. Análisis a T=150°C y t=2 minutos, e=3mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	0	3	9
Cambio de color	0	0	3	9
Líneas o zonas muy brillantes	0	3	0	6
Craqueo (agrietamiento)	2	1	0	4
Dificultad para doblado	0	3	0	6
Deformación de bordes	0	3	0	6
Marcas de sobreesfuerzo	0	3	0	6
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	0	0	3	9
Puntos obtenidos				55
Porcentaje				76,39%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-37. Análisis a T=150°C y t=0,5 minutos, e=3mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	0	3	9
Cambio de color	0	0	3	9
Líneas o zonas muy brillantes	0	3	0	6
Craqueo (agrietamiento)	3	0	0	3
Dificultad para doblado	3	0	0	3
Deformación de bordes	3	0	0	3
Marcas de sobreesfuerzo	3	0	0	3
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	0	3	0	6
Puntos obtenidos				42
Porcentaje				58,33%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

El caso representado por la tabla 4-35, cumple la hipótesis con un resultado del 91,67%.

4.3.2.6 Probetas de 3mm de espesor, expuestas a T=200°C.

Tabla 4-38. Análisis a T=200°C y t=5 minutos, e=3mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	3	0	0	3
Cambio de color	3	0	0	3
Líneas o zonas muy brillantes	3	0	0	3
Craqueo (agrietamiento)	0	3	0	6
Dificultad para doblado	0	0	3	9
Deformación de bordes	3	0	0	3
Marcas de sobreesfuerzo	0	0	3	9
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	3	0	0	3
Puntos obtenidos				39
Porcentaje				54,17%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-39. Análisis a T=200°C y t=2 minutos, e=3mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	3	0	6
Cambio de color	0	3	0	6
Líneas o zonas muy brillantes	0	3	0	6
Craqueo (agrietamiento)	0	0	3	9
Dificultad para doblado	0	0	3	9
Deformación de bordes	0	3	0	6
Marcas de sobreesfuerzo	0	2	1	7
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	0	3	0	6
Puntos obtenidos				55
Porcentaje				76,39%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-40. Análisis a T=200°C y t=0,5 minutos, e=3mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	0	3	9
Cambio de color	0	0	3	9
Líneas o zonas muy brillantes	0	0	3	9
Craqueo (agrietamiento)	0	0	3	9
Dificultad para doblado	0	3	0	6
Deformación de bordes	0	3	0	6
Marcas de sobreesfuerzo	0	3	0	6
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	0	0	3	9
Puntos obtenidos				63
Porcentaje				87,50%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Semejante a casos anteriores, la condición de la tabla 4-40, cumple la hipótesis, ya que el error es mínimo, debido a factores del laminado de las placas.

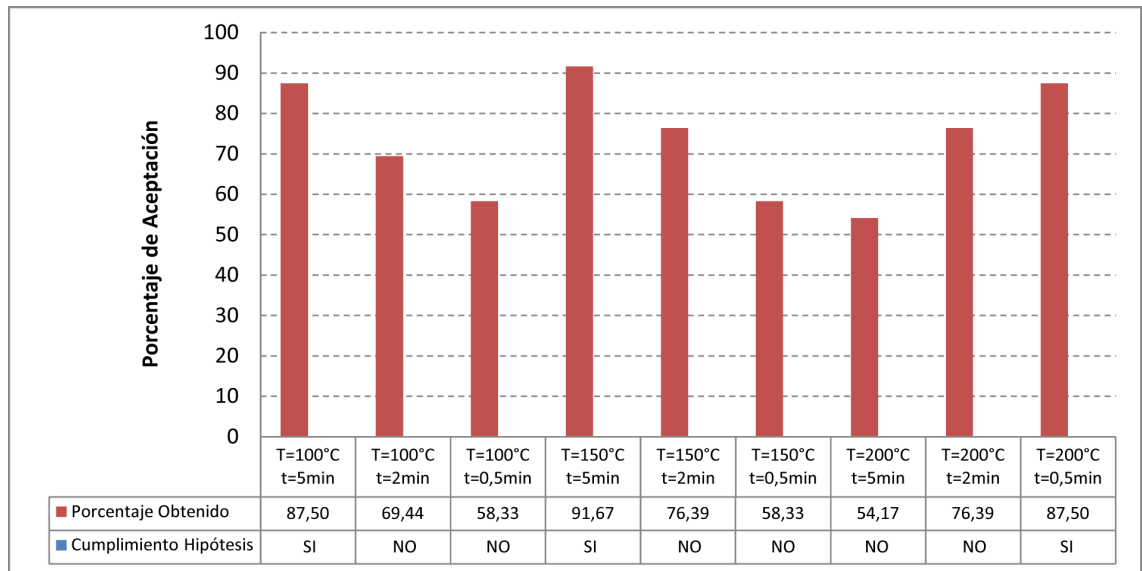


Gráfico 4-2. Porcentaje de aceptación obtenido vs. Relación Temperatura-Tiempo de exposición, para placas de 3mm de espesor.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

4.3.2.7 Probetas de 4mm de espesor, expuestas a T=100°C.

Tabla 4-41. Análisis a T=100°C y t=5 minutos, e=4mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	0	3	9
Cambio de color	0	0	3	9
Líneas o zonas muy brillantes	0	3	0	6
Craqueo (agrietamiento)	1	2	0	5
Dificultad para doblado	0	3	0	6
Deformación de bordes	3	0	0	3
Marcas de sobreesfuerzo	0	3	0	6
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	2	1	0	4
Puntos obtenidos				48
Porcentaje				66,67%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-42. Análisis a T=100°C y t=2 minutos, e=4mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	0	3	9
Cambio de color	0	0	3	9
Líneas o zonas muy brillantes	0	3	0	6
Craqueo (agrietamiento)	0	3	0	6
Dificultad para doblado	3	0	0	3
Deformación de bordes	3	0	0	3
Marcas de sobreesfuerzo	3	0	0	3
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	0	3	0	6
Puntos obtenidos				45
Porcentaje				62,50%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-43. Análisis a T=100°C y t=0,5 minutos, e=4mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	0	3	9
Cambio de color	0	0	3	9
Líneas o zonas muy brillantes	0	0	3	9
Craqueo (agrietamiento)	3	0	0	3
Dificultad para doblado	3	0	0	3
Deformación de bordes	3	0	0	3
Marcas de sobreesfuerzo	3	0	0	3
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	3	0	0	3
Puntos obtenidos				42
Porcentaje				58,33%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Ninguna de las condiciones, tiempo – temperatura cumplen con la hipótesis.

4.3.2.8 Probetas de 4mm de espesor, expuestas a T=150°C.

Tabla 4-44. Análisis a T=150°C y t=5 minutos, e=4mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	0	3	9
Cambio de color	0	0	3	9
Líneas o zonas muy brillantes	0	3	0	6
Craqueo (agrietamiento)	0	0	3	9
Dificultad para doblado	0	1	2	8
Deformación de bordes	0	3	0	6
Marcas de sobreesfuerzo	0	3	0	6
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	0	0	3	9
Puntos obtenidos				62
Porcentaje				86,11%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-45. Análisis a T=150°C y t=2 minutos, e=4mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	0	3	9
Cambio de color	0	0	3	9
Líneas o zonas muy brillantes	0	3	0	6
Craqueo (agrietamiento)	0	3	0	6
Dificultad para doblado	0	3	0	6
Deformación de bordes	3	0	0	3
Marcas de sobreesfuerzo	0	3	0	6
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	0	0	3	9
Puntos obtenidos				54
Porcentaje				75,00%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-46. Análisis a T=150°C y t=0,5 minutos, e=4mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	0	3	9
Cambio de color	0	0	3	9
Líneas o zonas muy brillantes	0	0	3	9
Craqueo (agrietamiento)	3	0	0	3
Dificultad para doblado	3	0	0	3
Deformación de bordes	3	0	0	3
Marcas de sobreesfuerzo	3	0	0	3
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	3	0	0	3
Puntos obtenidos				42
Porcentaje				58,33%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Se puede tomar el caso de la tabla 4-44, como cumplimiento de la hipótesis ya que el error obtenido es menor al 5%.

4.3.2.9 Probetas de 4mm de espesor, expuestas a T=200°C.

Tabla 4-47. Análisis a T=200°C y t=5 minutos, e=4mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	3	0	0	3
Cambio de color	3	0	0	3
Líneas o zonas muy brillantes	3	0	0	3
Craqueo (agrietamiento)	0	3	0	6
Dificultad para doblado	0	0	3	9
Deformación de bordes	3	0	0	3
Marcas de sobre esfuerzo	0	3	0	6
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	3	0	0	3
Puntos obtenidos				36
Porcentaje				50,00%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-48. Análisis a T=200°C y t=2 minutos, e=4mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	3	0	6
Cambio de color	0	0	3	9
Líneas o zonas muy brillantes	0	3	0	6
Craqueo (agrietamiento)	0	0	3	9
Dificultad para doblado	0	0	3	9
Deformación de bordes	0	3	0	6
Marcas de sobre esfuerzo	0	3	0	6
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	0	0	3	9
Puntos obtenidos				60
Porcentaje				83,33%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-49. Análisis a T=200°C y t=0,5 minutos, e=4mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	0	3	9
Cambio de color	0	0	3	9
Líneas o zonas muy brillantes	0	3	0	6
Craqueo (agrietamiento)	3	0	0	3
Dificultad para doblado	3	0	0	3
Deformación de bordes	3	0	0	3
Marcas de sobreesfuerzo	3	0	0	3
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	3	0	0	3
Puntos obtenidos				39
Porcentaje				54,17%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Ninguna condición planteada en esta sección, cumple con el requerimiento de la hipótesis, se presenta una gran magnitud en la defectología de las placas estudiadas.

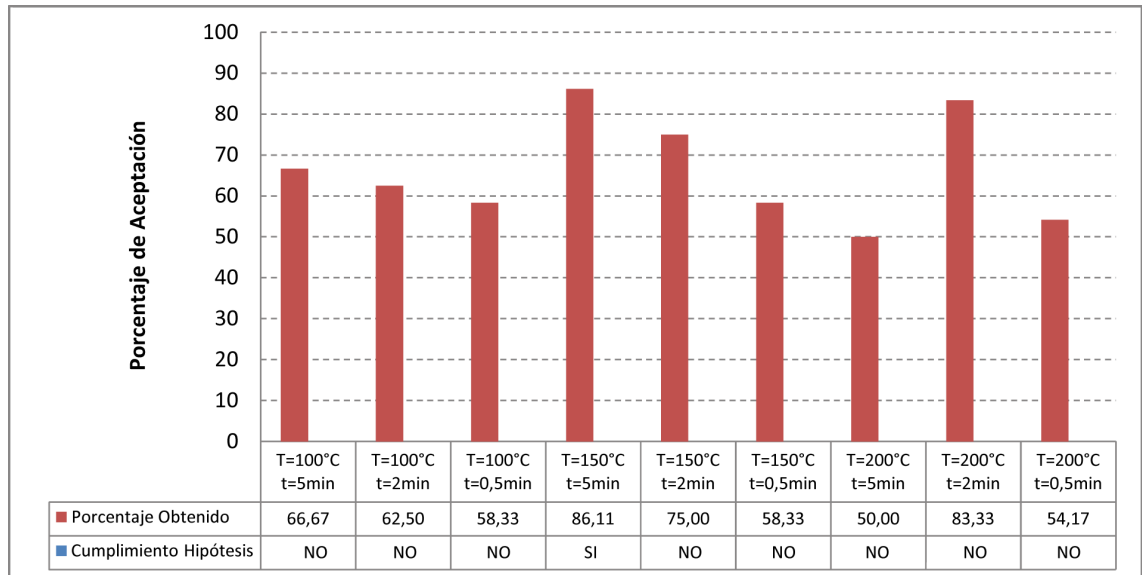


Gráfico 4-3. Porcentaje de aceptación obtenido vs. Relación Temperatura-Tiempo de exposición, para placas de 4mm de espesor.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

4.3.2.10 Probetas de 5mm de espesor, expuestas a T=100°C.

Tabla 4-50. Análisis a T=100°C y t=5 minutos, e=5mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	0	3	9
Cambio de color	0	0	3	9
Líneas o zonas muy brillantes	0	3	0	6
Craqueo (agrietamiento)	3	0	0	3
Dificultad para doblado	3	0	0	3
Deformación de bordes	3	0	0	3
Marcas de sobre esfuerzo	3	0	0	3
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	3	0	0	3
Puntos obtenidos				39
Porcentaje				54,17%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-51. Análisis a T=100°C y t=2 minutos, e=5mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	0	3	9
Cambio de color	0	0	3	9
Líneas o zonas muy brillantes	0	0	3	9
Craqueo (agrietamiento)	3	0	0	3
Dificultad para doblado	3	0	0	3
Deformación de bordes	3	0	0	3
Marcas de sobre esfuerzo	3	0	0	3
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	3	0	0	3
Puntos obtenidos				42
Porcentaje				58,33%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-52. Análisis a T=100°C y t=0,5 minutos, e=5mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	0	3	9
Cambio de color	0	0	3	9
Líneas o zonas muy brillantes	0	0	3	9
Craqueo (agrietamiento)	3	0	0	3
Dificultad para doblado	3	0	0	3
Deformación de bordes	3	0	0	3
Marcas de sobreesfuerzo	3	0	0	3
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	3	0	0	3
Puntos obtenidos				42
Porcentaje				58,33%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Los casos expuestos en las tablas anteriores no cumplen con la hipótesis, razón por la cual se descartan dichas condiciones de tiempo-temperatura.

4.3.2.11 Probetas de 5mm de espesor, expuestas a T=150°C.

Tabla 4-53. Análisis a T=150°C y t=5 minutos, e=5mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	0	3	9
Cambio de color	0	0	3	9
Líneas o zonas muy brillantes	0	3	0	6
Craqueo (agrietamiento)	0	0	3	9
Dificultad para doblado	0	3	0	6
Deformación de bordes	0	3	0	6
Marcas de sobreesfuerzo	0	3	0	6
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	0	0	3	9
Puntos obtenidos				60
Porcentaje				83,33%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-54. Análisis a T=150°C y t=2 minutos, e=5mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	0	3	9
Cambio de color	0	0	3	9
Líneas o zonas muy brillantes	0	3	0	6
Craqueo (agrietamiento)	0	3	0	6
Dificultad para doblado	0	3	0	6
Deformación de bordes	0	3	0	6
Marcas de sobreesfuerzo	0	3	0	6
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	0	0	3	9
Puntos obtenidos				57
Porcentaje				79,17%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-55. Análisis a T=150°C y t=0,5 minutos, e=5mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	0	3	9
Cambio de color	0	0	3	9
Líneas o zonas muy brillantes	0	3	0	6
Craqueo (agrietamiento)	3	0	0	3
Dificultad para doblado	3	0	0	3
Deformación de bordes	0	3	0	6
Marcas de sobreesfuerzo	3	0	0	3
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	0	3	0	6
Puntos obtenidos				45
Porcentaje				62,50%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

A pesar de que solo la condición de la tabla 4-53 se acerca al 90% requerido, no se la puede tomar como un parámetro de comprobación para la hipótesis, ya que si se presentó un rango importante de defectología.

4.3.2.12 Probetas de 5mm de espesor, expuestas a T=200°C.

Tabla 4-56. Análisis a T=200°C y t=5 minutos, e=5mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	3	0	0	3
Cambio de color	3	0	0	3
Líneas o zonas muy brillantes	3	0	0	3
Craqueo (agrietamiento)	3	0	0	3
Dificultad para doblado	0	0	3	9
Deformación de bordes	3	0	0	3
Marcas de sobreesfuerzo	0	3	0	6
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	3	0	0	3
Puntos obtenidos				33
Porcentaje				45,83%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-57. Análisis a T=200°C y t=2 minutos, e=5mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	3	0	0	3
Cambio de color	3	0	0	3
Líneas o zonas muy brillantes	3	0	0	3
Craqueo (agrietamiento)	3	0	0	3
Dificultad para doblado	0	0	3	9
Deformación de bordes	3	0	0	3
Marcas de sobreesfuerzo	0	3	0	6
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	3	0	0	3
Puntos obtenidos				33
Porcentaje				45,83%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 4-58. Análisis a T=200°C y t=0,5 minutos, e=5mm.

Defectología en orden de importancia visual	Frecuencia			Calificación
	Alta	Media	Baja	
Presencia de Ampollas o burbujas	0	0	3	9
Cambio de color	0	0	3	9
Líneas o zonas muy brillantes	0	3	0	6
Craqueo (agrietamiento)	3	0	0	3
Dificultad para doblado	3	0	0	3
Deformación de bordes	3	0	0	3
Marcas de sobreesfuerzo	3	0	0	3
Distorsión o variación en el pandeo de la placa	3	0	0	3
Puntos obtenidos				39
Porcentaje				54,17%

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Ninguna condición cumple con el requerimiento de la hipótesis, la defectología presente es predominante.

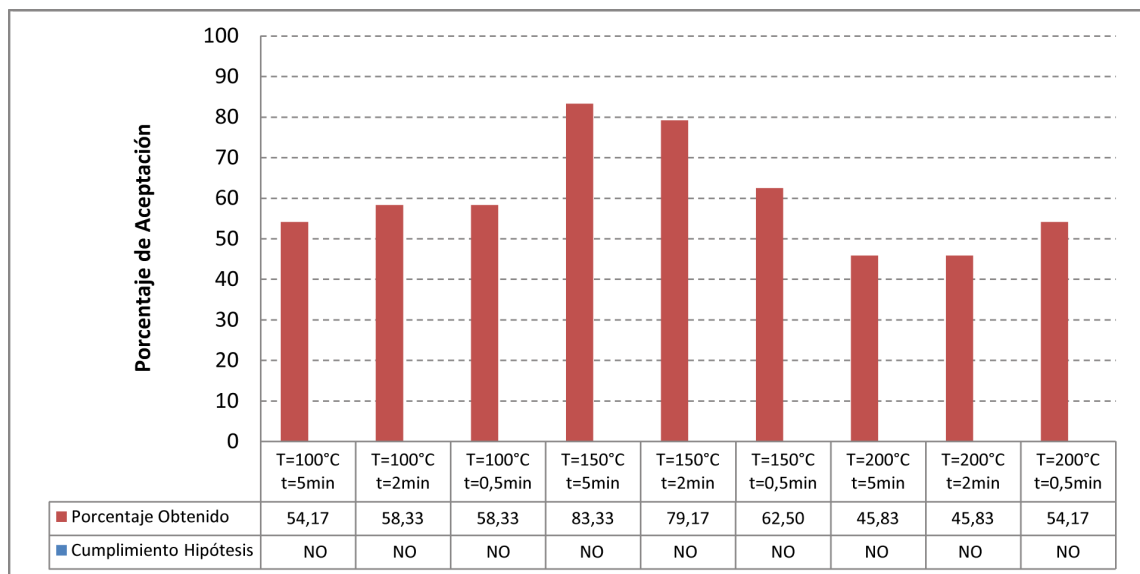


Gráfico 4-4. Porcentaje de aceptación obtenido vs. Relación Temperatura-Tiempo de exposición, para placas de 5mm de espesor.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

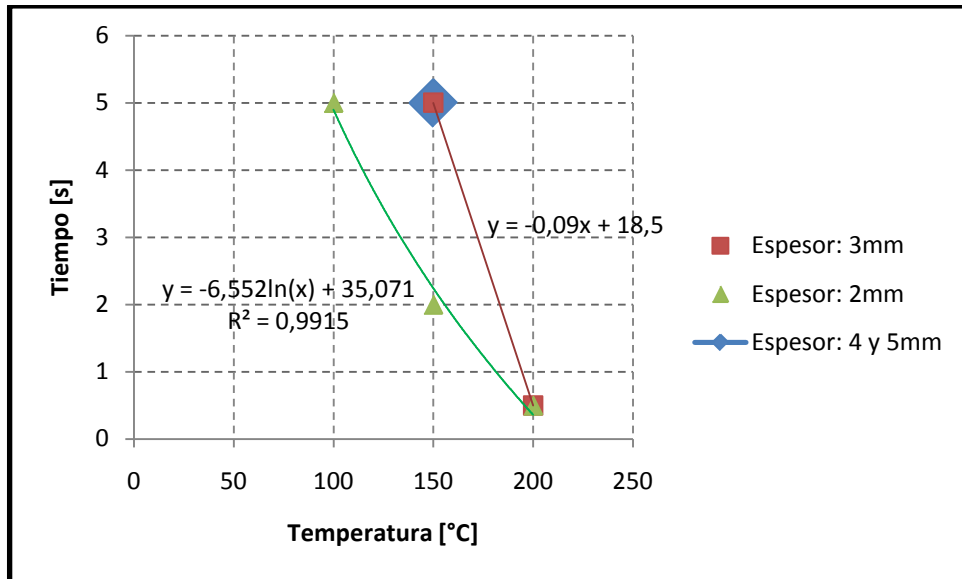


Gráfico 4-5. Regresiones de temperatura-tiempo obtenidas para cada espesor.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

En resumen, se presenta el comportamiento de las placas analizadas en el siguiente gráfico, destacando que para espesores bajos (2mm) el calentamiento se ajusta a un modelo logarítmico, según se incrementa el espesor (3mm) tiene un comportamiento lineal y para el caso de espesores de 4 y 5mm coinciden los datos de la relación temperatura-tiempo en un solo punto.

4.3.3 Verificación de las condiciones tiempo-temperatura que satisfacen la hipótesis, por medio de la comparación real-teórica del comportamiento del PMMA al calentarse.

Para esta comparación, en la parte experimental se tomaron medidas de temperatura en el transcurso del tiempo (cada 30 segundos), en la zona superior de las placas sometidas (Como se aprecia en la ilustración 4-7), con la finalidad de identificar los valores que se acercaban a la temperatura de transición vítrea en un tiempo puntual, lo que denota el estado viscoelástico del material en ese instante.

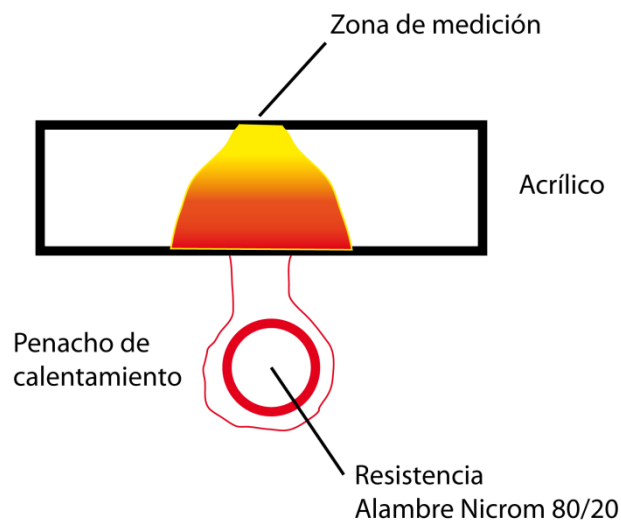


Ilustración 4-7. Desarrollo del calentamiento en las placas acrílicas.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

4.3.4 Calentamiento transitorio para placas de 2mm de espesor.

Tabla 4-59. Mediciones experimentales y datos teóricos del desarrollo del calentamiento, en placa de 2mm.

Tiempo [seg]	Medición Real [°C]			Datos Teóricos [°C]		
	T=100	T=150	T=200	T=100	T=150	T=200
30	41,6	63,1	79,9	40,372	63,037	79,905
60	57,9	94,6	123,9	52,956	83,999	113,26
90	68,9	113,3	152,1	62,89	100,08	137,89
120	76,1	127,1	170,6	70,779	112,71	156,48
150	80,8	137,3	184,1	77,044	122,64	170,51
180	85,7	144,2	193,3	82,002	130,43	181,05
210	88,6	148,7	199,1	85,909	136,5	188,91
240	91,1	150,3	202,6	88,972	141,21	194,75
270	94,1	151,8	206,1	91,364	144,84	199,06
300	94,6	152	208	93,224	147,64	202,24

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

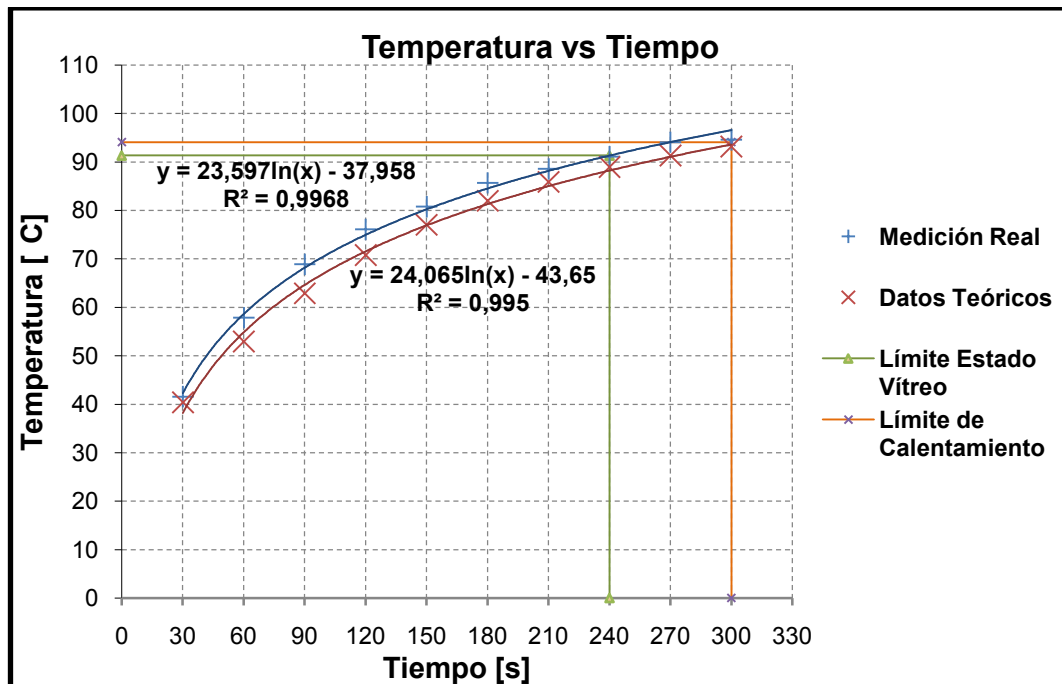


Gráfico 4-6. Comportamiento de una placa de 2 mm, expuesta a T=100 °C.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

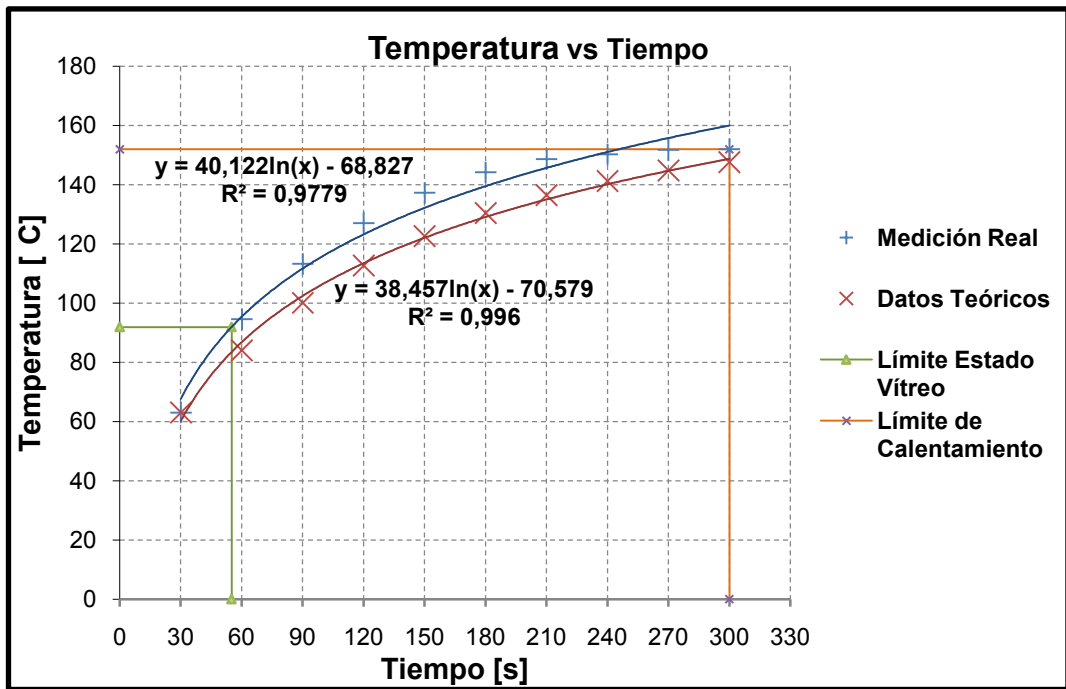


Gráfico 4-7. Comportamiento de una placa de 2 mm, expuesta a T=150 °C.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

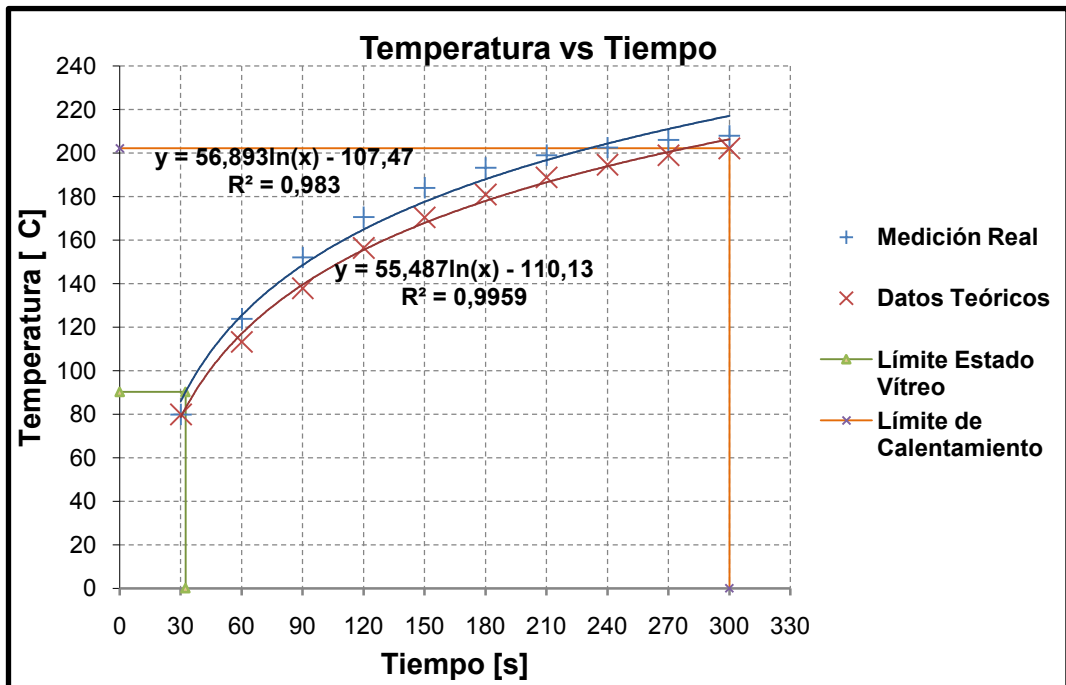


Gráfico 4-8. Comportamiento de una placa de 2 mm, expuesta a T=200 °C.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

De las gráficas expuestas, se determina que:

- Para una temperatura de 100°C, el tiempo mínimo de exposición debe considerarse a partir de los 270 segundos en adelante, porque supera la temperatura de uso del material (90°C) y se acerca al límite de la temperatura de transición vítrea (de 100°C a 105°C), lo que valida el caso de la tabla 4-23.
- Para T=150°C, se toman tiempos de exposición desde los 60 segundos, porque se cumplen las mismas condiciones anteriormente descritas, validando así el caso de la tabla 4-27.
- Para T=200°C, se hacen efectivos los tiempos tomados desde los 30 segundos, por cumplir con las condiciones iniciales, admitiendo el caso de la tabla 4-31.

4.3.5 Calentamiento transitorio para placas de 3mm de espesor.

Tabla 4-60. Mediciones experimentales y datos teóricos del desarrollo del calentamiento, en placa de 3mm.

Tiempo [seg]	Medición Real			Datos Teóricos		
	T=100	T=150	T=200	T=100	T=150	T=200
30	35,5	56	65,1	35,823	53,292	72,218
60	52,1	77	107,1	45,603	72,975	107,3
90	61,4	96	142,8	54,064	89,134	133,02
120	68,5	116,4	168,1	61,413	102,47	151,97
150	75,2	127,4	180,9	67,778	113,41	166,01
180	79,6	134,3	187,3	73,255	122,32	176,48
210	83,5	141,7	192,6	77,932	129,56	184,35
240	87,2	144,6	196,9	81,9	135,44	190,3
270	89,6	146,8	200,8	85,245	140,2	194,82
300	91,4	149,6	204,1	88,051	144,06	198,29

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

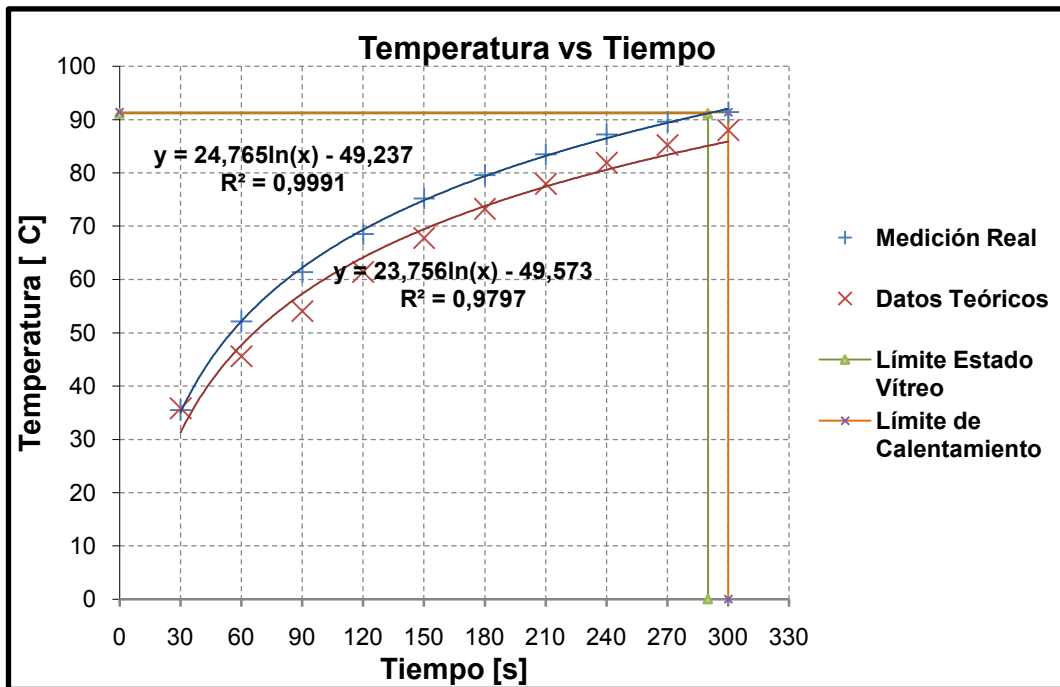


Gráfico 4-9. Comportamiento de una placa de 3 mm, expuesta a T=100 °C.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

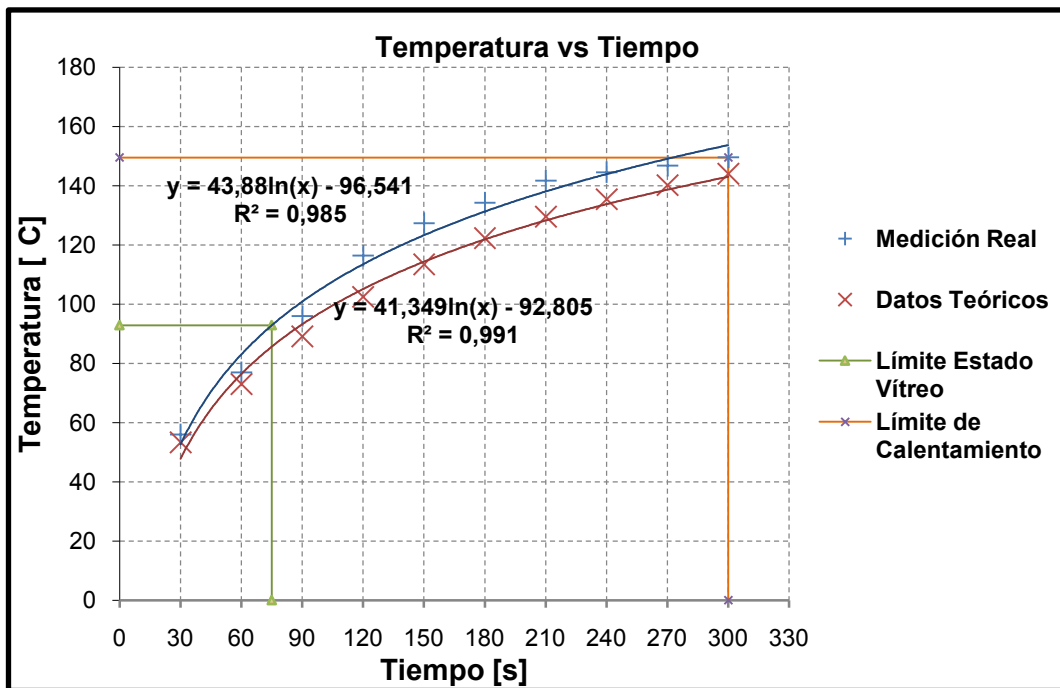


Gráfico 4-10. Comportamiento de una placa de 3 mm, expuesta a T=150 °C.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

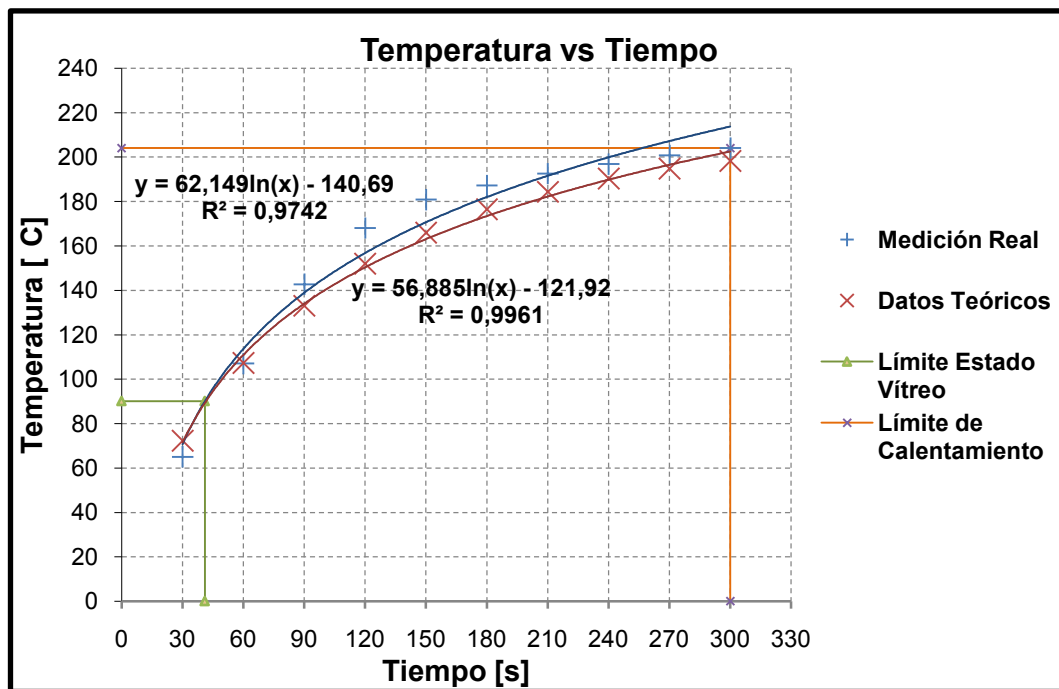


Gráfico 4-11. Comportamiento de una placa de 3 mm, expuesta a T=200 °C.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

De las gráficas expuestas anteriormente, se determina:

- Para una temperatura de 100°C, el tiempo mínimo de exposición debe ser mayor que 290 segundos, para que se logre superar la temperatura de uso del material (90°C) y de igual forma acercarse al límite de la temperatura de transición vítrea (de 100°C a 105°C).
- Para T=150°C, se toman tiempos de exposición desde los 80 segundos, porque se cumplen las mismas condiciones anteriormente descritas, validando así el caso de la tabla 4-35.
- Para T=200°C, se hacen efectivos los tiempos tomados desde los 30 segundos, por cumplir con las condiciones iniciales, comprobando el caso de la tabla 4-40.

4.3.6 Calentamiento transitorio para placas de 4mm de espesor.

Tabla 4-61. Mediciones experimentales y datos teóricos del desarrollo del calentamiento, en placa de 4mm.

Tiempo [seg]	Medición Real			Datos Teóricos		
	T=100	T=150	T=200	T=100	T=150	T=200
30	25,7	29,4	51,8	23,465	35,083	54,899
60	35,6	46,7	85,5	30,838	49,008	76,979
90	44,5	63,6	112	38,361	61,348	95,43
120	52,1	75,8	131,6	45,484	72,273	111,46
150	58,3	86,3	145,8	52,044	81,893	125,52
180	63,2	93,7	156,6	57,995	90,309	137,83
210	66,9	101,3	165,2	63,338	97,637	148,54
240	70,5	107,8	171,6	68,096	103,99	157,8
270	73,2	113,4	177,3	72,306	109,49	165,76
300	75,2	117,9	179,4	76,011	114,24	172,57

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

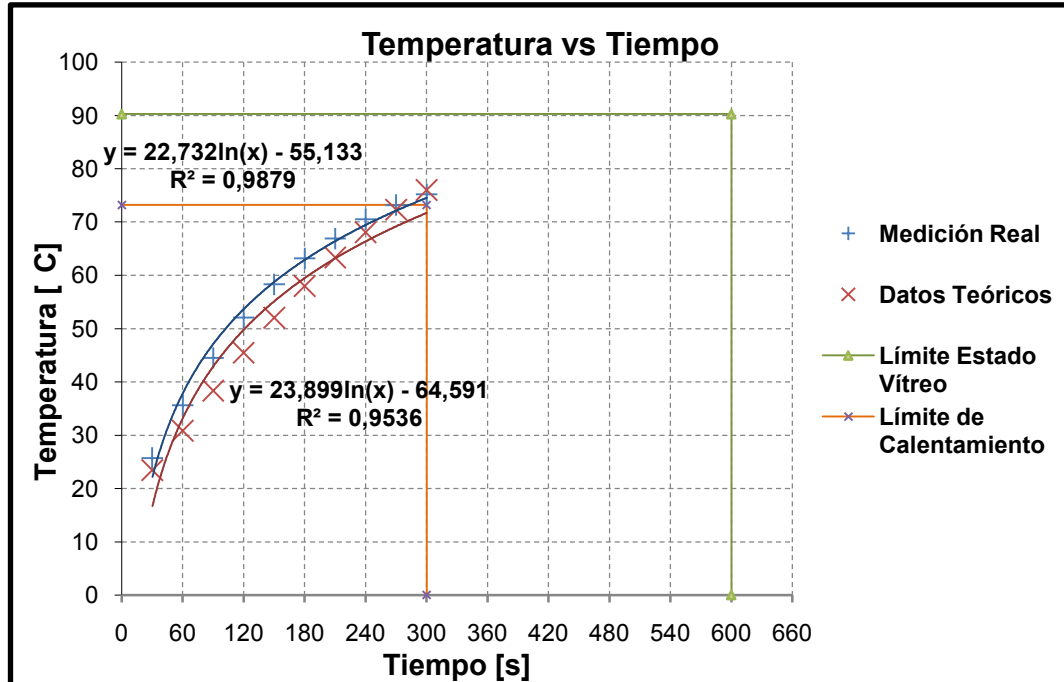


Gráfico 4-12. Comportamiento de una placa de 4 mm, expuesta a T=100 °C.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

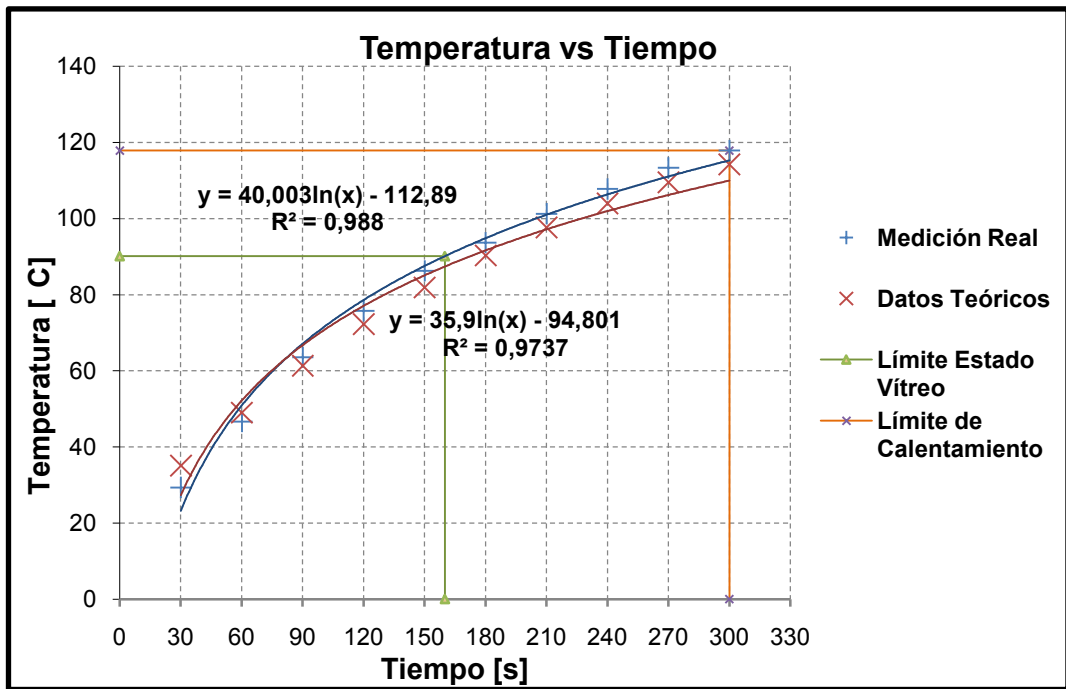


Gráfico 4-13. Comportamiento de una placa de 4 mm, expuesta a T=150 °C.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

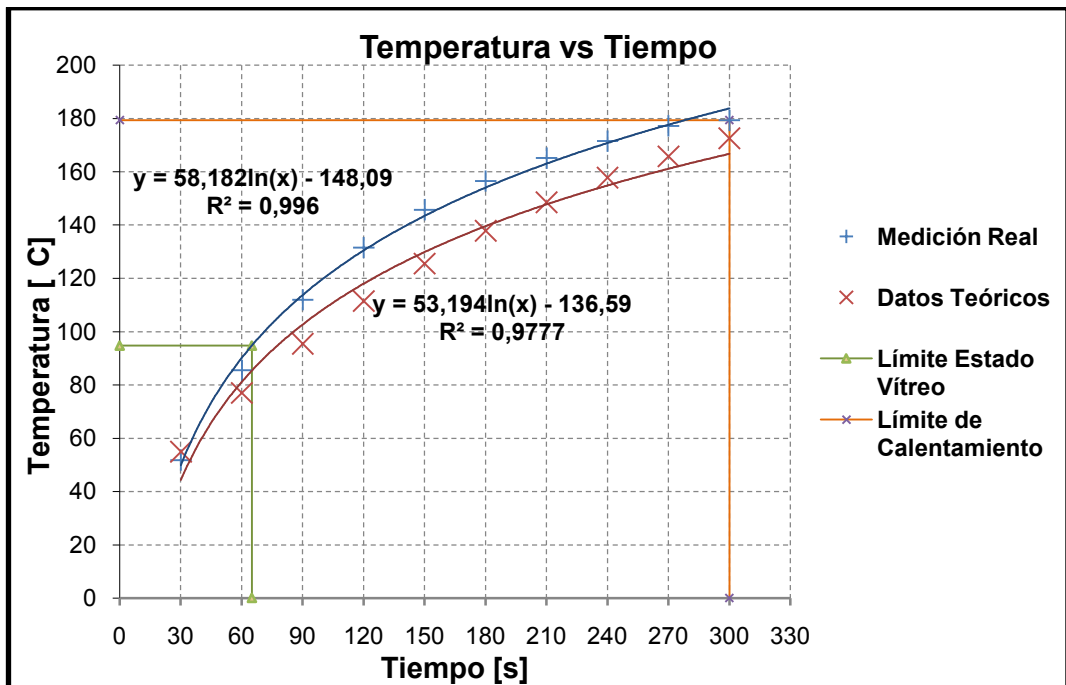


Gráfico 4-14. Comportamiento de una placa de 4mm, expuesta a T=200 °C.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

De las gráficas anteriores, se determina lo siguiente:

- Para una temperatura de 100°C, el tiempo mínimo de exposición debe ser mayor que 300 segundos (cercano a los 600 segundos), ya que no se alcanza ni el límite de la temperatura de uso del material.
- Para T=150°C, se toman tiempos de exposición desde los 160 segundos, porque si se supera el límite de uso del material y su estado vítreo, validando así el caso de la tabla 4-44.
- Para T=200°C, se hacen prácticos los tiempos tomados desde los 70 segundos, pero no son aplicables debido a la alta presencia de defectología superficial, determinada en la sección 4.2.

4.3.7 Calentamiento transitorio para placas de 5mm de espesor.

Tabla 4-62. Mediciones experimentales y datos teóricos del desarrollo del calentamiento, en placa de 5mm.

Tiempo [seg]	Medición Real			Datos Teóricos		
	T=100	T=150	T=200	T=100	T=150	T=200
30	22,2	26,6	39,2	19,613	22,538	32,293
60	27,6	35,0	53	22,876	27,649	40,854
90	32,9	43,3	66,6	27,163	34,33	51,914
120	38,0	51,1	79,2	31,919	41,708	63,97
150	42,8	58,6	91	36,797	49,24	76,11
180	47,4	65,6	102	41,598	56,62	87,837
210	51,7	72,1	112,1	46,213	63,681	98,904
240	55,7	78,2	121,3	50,583	70,339	109,2
270	59,5	83,8	129,8	54,68	76,556	118,69
300	62,9	89,0	137,5	58,496	82,322	127,38

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

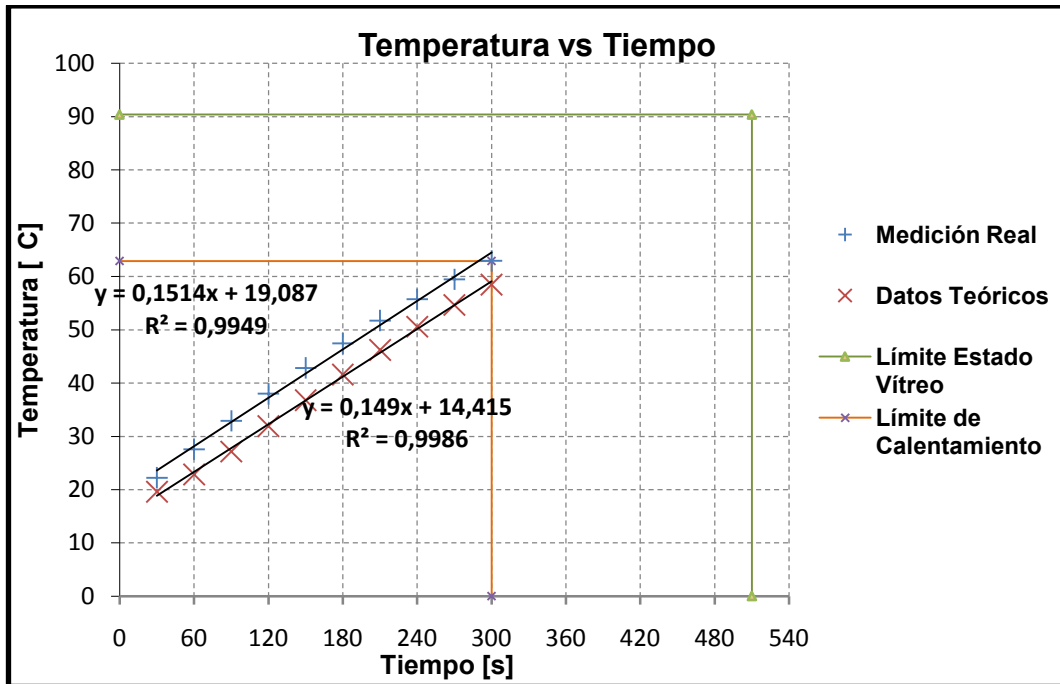


Gráfico 4-15. Comportamiento de una placa de 5mm, expuesta a $T=100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

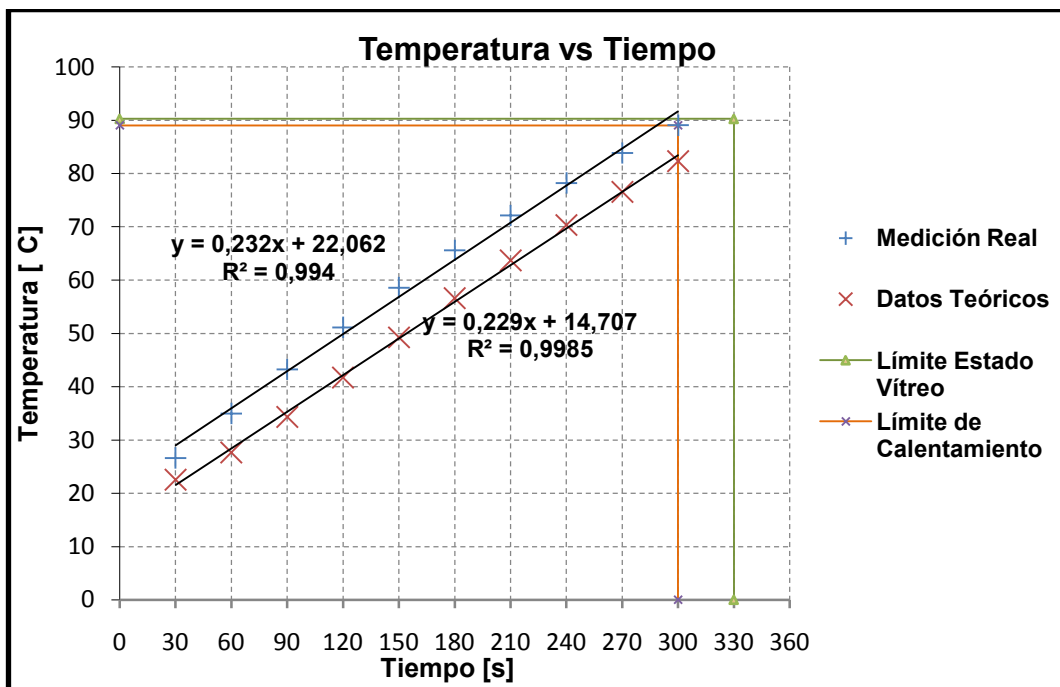


Gráfico 4-16. Comportamiento de una placa de 5mm, expuesta a $T=150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

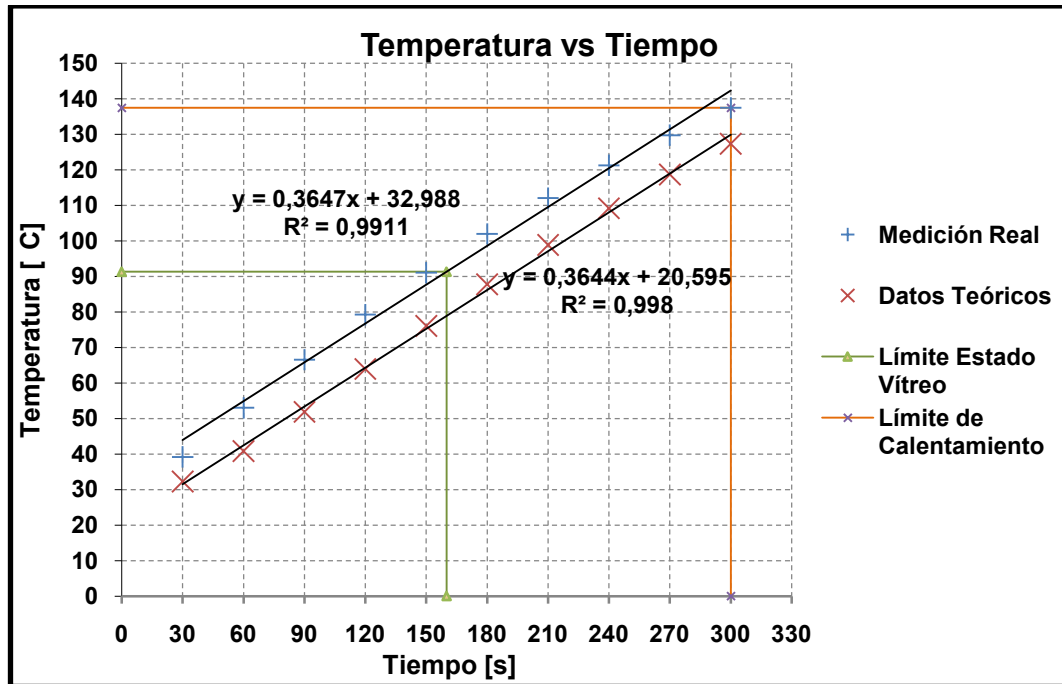


Gráfico 4-17. Comportamiento de una placa de 5mm, expuesta a T=200 °C.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

De las gráficas anteriores se destaca lo siguiente:

- Para T=100°C, el tiempo mínimo de exposición debe ser mayor que 510 segundos, ya que con el tiempo máximo planteado no se logra superar la temperatura de servicio del material (T=90°C).
- Para T=150°C, se toman tiempos de exposición mayores los 330 segundos, para alcanzar el límite de uso del material, aunque para validar el caso de la tabla 4-53, se debería calentar la lámina por ambos lados.
- Para T=200°C, se pueden tomar tiempos desde los 160 segundos, pero no son aplicables debido a una alta presencia de defectología en la superficie expuesta.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.

- Se identificaron varios aspectos en cuanto a la defectología, al realizar el análisis del sistema actual de la empresa (por conducción), como son: ampollas o burbujas con un área promedio de $0,43\text{mm}^2$, afectando un 73,88% de la longitud de la placa, quemaduras de hasta $107,46\text{mm}^2$ por cada $246,77\text{mm}^2$ de área calentada, zonas con demasiado brillo, agrietamiento o craqueo cubriendo un área de $18,34\text{mm}^2$, distorsión de hasta $5,32\text{mm}$ desde el eje longitudinal hacia el centro de la placa, con un ángulo de $2,88^\circ$; todos producidos por la falta de control y atención de los factores de temperatura, tiempo de exposición y espesor de las placas examinadas.
- Se determinaron valores de temperatura y tiempo de exposición, para el calentamiento de las placas en función de su espesor, cumpliendo con la calidad establecida por la empresa: para 2mm las temperaturas de trabajo son de 100°C - 200°C ante 0,5-5 minutos, para 3mm se consideran temperaturas entre 150°C - 200°C para tiempos de 0,5 a 5 minutos, para 4mm la condición de trabajo es 150°C por 5 minutos, mientras que para 5mm de espesor necesariamente deben calentarse ambos lados de la placa.
- Al considerar tiempos de exposición para el calentamiento muy prolongados, se afecta de igual forma el tiempo de enfriamiento de las placas ya dobladas, lo que puede producir imperfecciones, por ejemplo al someter probetas a 10 minutos ante las temperaturas planteadas, se presentaron los siguientes resultados:
 - A $T=100^\circ\text{C}$, a pesar de darse una buena facilidad ante el doblado, existe una distribución de calor descentralizada, por lo que la

distorsión se amplía, obligando así, a utilizar necesariamente una matriz para obtener un doblado aceptable.

- A $T=150^{\circ}\text{C}$, la defectología es más clara ya que se desarrollan ampollas a lo largo de la placa, además se denota una reducción de espesor en la zona de calentamiento, concluyendo que es demasiado tiempo para esta temperatura.
- Con $T=200^{\circ}\text{C}$, la placa se degrada a los 5 minutos, ya que al aplicar el doblez se desprende sin ningún esfuerzo, al permanecer durante 10 minutos se presenta una socavadura aproximadamente en el 50% de su espesor, razón por la cual se descarta el uso del sistema a esta temperatura por tiempos mayores a 1:50 minutos.



Ilustración 5-1. Placa acrílica de 5mm de espesor sometida a 200°C durante 10 minutos.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

- Independientemente del espesor de las placas sometidas al calentamiento, cuando se exponen a temperaturas muy altas sufren daños superficiales importantes, hasta llegar al punto de auto ignición (ilustración 5-2 y 5-3), debido al alto gradiente entre la temperatura exterior y la temperatura interna del polímero PMMA.

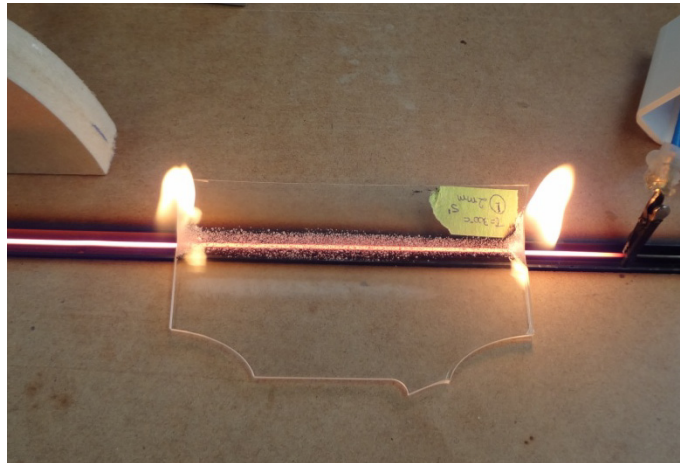


Ilustración 5-2. Placa acrílica de 2mm de espesor, expuesta a una temperatura de 300°C y $t=5\text{min}$.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

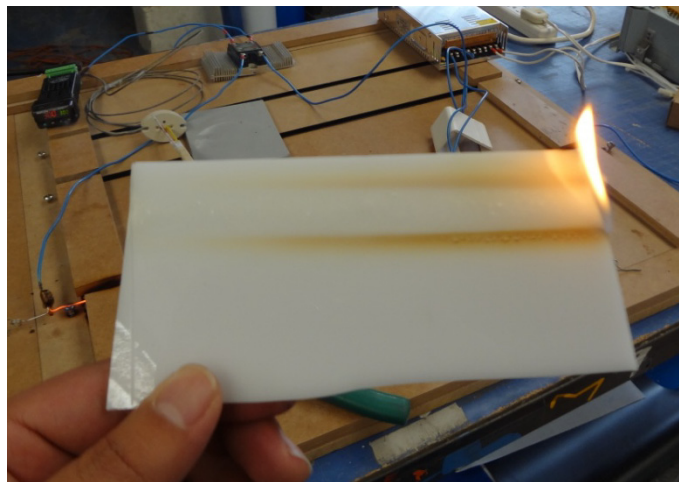


Ilustración 5-3. Placa acrílica de 4 mm de espesor, expuesta a una temperatura de 300°C y $t=5\text{min}$.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

- Finalmente se concluye que, al exponer las placas a $T=200^\circ\text{C}$, se ampollan ampliamente a partir de $t=1:16$ minutos, llegando a deteriorarse por completo a $t=1:25$ minutos (degradación), razón por la cual el tiempo funcional para esta temperatura fue de 30 segundos, únicamente para las placas de 2 y 3mm de espesor.

- La variabilidad de espesor a lo largo de las placas (mal proceso de laminado), ocasiona un calentamiento no uniforme, independiente de la operación del calentador, con lo que la defectología presente no obedece al proceso de transferencia de calor sino a la uniformidad de las placas.

5.2 RECOMENDACIONES.

- Aplicar este estudio, considerando otros materiales de uso común en el medio publicitario, como son: PVC, PS, PE.
- Realizar un trabajo de investigación más intenso en cuanto al polímero se refiere, incluyendo la influencia de temperaturas y tiempos de exposición, aplicando los métodos dinámico-mecánicos (principio de superposición tiempo-temperatura), para así determinar las propiedades mecánicas del PMMA, que son características muy importantes en procesos de termoformado.
- Evitar el contacto directo de las placas a calentar, con elementos o partes del calentador; para prevenir que se pegue la placa, se puede adicionar cinta de teflón en la zona de apoyadura.
- Se debe retirar la lámina de protección antes de someterla al calentamiento, además el lado caliente siempre debe quedar hacia fuera.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1 DATOS INFORMATIVOS.

6.1.1 Título.

Diseño y construcción de un calentador eléctrico prototipo, mediante la aplicación de alambre de resistencia **Nicrom 80/20**, con un sistema de control de temperatura PID y formulación de una guía de trabajo para el doblado del PMMA.

6.1.2 Beneficiario.

Este proyecto va enfocado al desarrollo tecnológico y productivo, en el área de elaboración de artículos publicitarios conformados por placas de acrílico (PMMA) de la empresa Morce D&P, aplicando la ingeniería mecánica para optimizar recursos materiales, económicos y humanos, con la implementación de un sistema totalmente funcional.

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.

La empresa de publicidad Morce, durante su trayectoria, ha venido mejorando los procesos que involucran la producción con calidad de todos los artículos relacionados con este campo, ya sea adquiriendo nueva tecnología o también implementando sistemas intuitivos que se han adoptado por la experiencia.

En este caso particular, dentro del tratamiento térmico del acrílico (PMMA), se han presentado situaciones desfavorables, debido a que el sistema vigente en la empresa, no goza de un procedimiento de control para sustentar la calidad del producto final, producto que refleja la satisfacción o rechazo del consumidor.

Siendo así se ha trabajado con la misma temperatura de 215°C (a la máxima potencia de las resistencias cilíndricas blindadas (3000W)), para todo calibre de espesor de las placas, con lo que se obtienen amplias defectologías en el proceso

de calentamiento, únicamente se variaba el tiempo (por tanteo) al que se exponían las placas.

De la investigación realizada se determinaron tiempos de exposición entre 0,5 y 5 minutos, aplicados en temperaturas que van desde 100°C hasta 200°C, de acuerdo al espesor de la placa de la siguiente manera:

- Para placas de 2mm, se pueden aplicar tiempos de 0,5, 2 y 5 minutos, con temperaturas de 200°C, 150°C y 100°C respectivamente.
- Para placas de 3mm, se pueden aplicar tiempos de 0,5 y 5 minutos, con temperaturas de 200°C, 150°C respectivamente.
- Para placas de 4mm, se puede aplicar únicamente un tiempo de 5 minutos a 150°C de temperaturas.
- Para espesores de 5mm es necesario calentar por ambos lados de la placa a 150°C por 5 minutos.

6.3 JUSTIFICACIÓN.

Con el diseño y construcción de un calentador eléctrico prototipo, mediante la aplicación de alambre de resistencia **Nicrom 80/20**, con un sistema de control de temperatura PID, se mejora notablemente aspectos como:

- Uniformidad de la transferencia de calor a las placas sometidas.
- Evitar el contacto directo (conducción) entre las placas y el calentador.
- Los dobleces obtenidos con un buen acabado, mejorando así el impacto visual del consumidor, fin imprescindible.

A través de la experimentación realizada, se establece la utilización de un sistema que sea capaz de producir los artículos publicitarios con mayor rapidez y calidad, siendo su pilar fundamental el **Control** de los parámetros estudiados como son, temperatura y tiempo de exposición, que varían en función del espesor de la placa utilizada.

Medidas de mucha importancia, como: consumo eléctrico, tiempos del operador durante el proceso, precisión de la respuesta del sistema de control, se verán mejoradas marcadamente, optimizando el porvenir de la empresa en los procesos que involucren al acrílico como materia prima.

6.4 OBJETIVOS.

6.4.1 General.

- Diseñar y construir un calentador eléctrico prototipo, mediante la aplicación de alambre de resistencia **Nicrom 80/20**, con un sistema de control de temperatura PID y formulación de una guía de trabajo para el doblado del PMMA.

6.4.2 Específicos.

- Determinar la potencia de la fuente utilizada para la alimentación del alambre Nicrom 80/20, en función de las temperaturas obtenidas en el estudio.
- Seleccionar el calibre apropiado del alambre de resistencia Nicrom 80/20, considerando los parámetros de funcionamiento y finalidad del sistema de calentamiento.
- Seleccionar un sistema controlador PID, acorde a los requerimientos de temperatura, precisión y rango de trabajo.
- Determinar las pérdidas de calor ocasionadas, para establecer un balance energético.
- Formular una guía de trabajo para obtener dobleces aceptables en los artículos publicitarios.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.

La solución planteada es totalmente factible, técnica y económicamente, ya que no solo permite obtener un calentamiento correcto de las placas sin presentar defectología, sino que además su sistema es de manejo sencillo, obteniendo prestaciones muy superiores a las que brinda el sistema actual de la empresa.

El calentamiento eléctrico de las placas a través del alambre de resistencia nicrom 80/20, se desarrolla de manera rápida y efectiva, tanto en la puesta en marcha del sistema (obtención de una temperatura constante), como en el proceso mismo.

El diseño parte de los requerimientos obtenidos en la parte experimental, que constituyen parámetros conocidos, para plantear cálculos, y estudiar circunstancias especiales del sistema, por medio de simulaciones, conjugando el conocimiento de la bibliografía y las ventajas del software.

6.6 FUNDAMENTACIÓN.

6.6.1 Calor requerido por la placa acrílica.

Datos a considerar:

- Espesor mayor de la placa: 5mm.
- Temperatura máxima de exposición: 200°C.

Mediante el desarrollo y aplicación de la ecuación 2-1, se determina el calor que requiere la placa de PMMA, para llegar al estado viscoelástico, de la siguiente manera:

$$m = V * \rho \quad \text{Ecuación 6-1}$$

$$V = a * b * e \quad \text{Ecuación 6-2}$$

$$Q = a * b * e * \rho * Cp\Delta T \quad \text{Ecuación 6-3}$$

$$Q = 0,01m * 1,22m * 0,005m * 1200 \frac{kg}{m^3} * 1,47 \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ C} * (200 - 25)^\circ C$$

$$Q = 18,83 KJ$$

Para un tiempo máximo de calentamiento o exposición al calor de 5 minutos:

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} = \frac{18,83 \times 10^3}{5 * 60} \cdot \frac{J}{s} = 62,77 W$$

6.6.2 Selección de la fuente eléctrica de trabajo.

De acuerdo a la parte experimental se determinó que un funcionamiento más apropiado para el sistema y para la vida útil del alambre de resistencia, es por medio de una fuente de DC (Corriente continua). Una opción factible técnica y económicamente viene dada por un tipo de fuente conmutable con las siguientes características:

Tabla 6-1. Parámetros de funcionamiento de una fuente DC conmutable.

Característica	Valor
Voltaje de entrada	110V-220V
Corriente de consumo	3.2A
Voltaje de Salida	12V±1
Corriente de Salida	Variable
Sistema de refrigeración	Por Aire

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

6.6.2.1 Determinación de la corriente de funcionamiento.

De acuerdo a la potencia que requiere el material ($62,77 W$), se determina la corriente de salida así:

$$P = I * V \qquad \text{Ecuación 6-4}$$

Dónde:

P: Potencia.

I : Intensidad de Corriente.

V : Voltaje

$$I = \frac{P}{V} = \frac{62.77W}{13V} = 4.83 A$$

Con el resultado anterior se puede sobredimensionar la potencia de la fuente seleccionada con un 30% adicional a la carga (por recomendación del fabricante), definiendo de tal forma lo siguiente:

$$I_T = 1.3 * 4.8284 A$$

$$I_T = 6.3 A$$

$$\therefore P = 6.3A * 13V = 81.9W$$

En el mercado existen fuentes con valores estándar de potencia por lo que se selecciona la fuente de la ilustración:



Ilustración 6-1. Fuente DC 12V- 100W.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

6.6.3 Selección del alambre Nicrom 80/20.

Las aleaciones para resistencia eléctricas son fabricadas en gran variedad de composiciones, sin embargo las aleaciones níquel cromo poseen una elevada

resistividad eléctrica y un coeficiente de temperatura reducido, junto con una alta resistencia a la oxidación y a la alteración a temperaturas elevadas.

Más características específicas de dicha aleación, vienen detalladas en la norma ASTM B344-65, como por ejemplo la tabla del anexo 4.

Una vez determinada la potencia calorífica necesaria para que el material PMMA alcance el estado viscoelástico (sección 6.6.1), se utiliza la siguiente tabla, en la cual se utiliza únicamente la temperatura como un parámetro de entrada, se comparan la intensidad de corriente calculada con el dato dado y se selecciona el diámetro del alambre de resistencia, que cumpla con lo solicitado.

Tabla 6-2. Características temperatura corriente del hilo Nircrom.

Tamaño del hilo, mm ²	Diámetro del hilo, mm	Diámetro del árbol, mm	Corriente aprox (amperes) para producir una temperatura de								
			400 F 204 C	600 F 316 C	800 F 427 C	1000 F 538 C	1200 F 649 C	1400 F 760 C	1600 F 871 C	1800 F 982 C	2000 F 1093 C
Hilo recto*											
42	7,34	.....	78.20	109.0	140.0	177.0	219.0	268.0	322.0	378.0	434.0
34	6,55	.....	65.41	91.59	117.5	148.7	184.1	225.1	270.4	317.3	364.5
26,7	5,82	.....	54.71	76.94	98.57	124.9	154.7	189.1	227.1	266.4	306.2
21,1	5,18	.....	45.76	64.64	82.71	104.9	130.0	158.9	190.7	223.6	257.3
16,8	4,62	.....	38.28	54.30	69.40	88.09	109.3	133.4	160.1	187.6	216.0
13,3	4,11	.....	32.02	45.62	58.23	73.99	91.86	112.1	133.5	157.5	181.4
10,5	3,66	.....	26.78	38.33	48.85	62.15	77.21	94.16	112.9	132.2	152.4
8,40	3,25	.....	22.40	32.20	41.00	52.20	64.89	79.10	94.80	111.0	128.0
6,65	2,90	.....	18.80	27.00	34.60	43.90	54.60	66.90	80.00	94.00	108.0
5,25	2,59	.....	16.11	22.95	29.35	37.17	46.22	56.66	67.79	79.62	91.41
13,3	4,11	.....	32.02	45.62	58.23	73.99	91.86	112.1	133.5	157.5	181.4
10,5	3,66	.....	26.78	38.33	48.85	62.15	77.21	94.16	112.9	132.2	152.4
8,40	3,25	.....	22.40	32.20	41.00	52.20	64.89	79.10	94.80	111.0	128.0
6,65	2,90	.....	18.80	27.00	34.60	43.90	54.60	66.90	80.00	94.00	108.0
5,25	2,59	.....	16.11	22.95	29.35	37.17	46.22	56.66	67.79	79.62	91.41
4,17	2,31	.....	13.82	19.52	24.90	31.47	39.12	47.99	57.44	67.44	77.36
3,31	2,06	.....	11.84	16.59	21.12	26.65	33.12	40.65	48.67	57.12	65.48
2,62	1,83	.....	10.15	14.10	17.92	22.57	28.03	34.64	41.24	48.38	55.42
2,08	1,63	.....	8.70	11.98	15.20	19.11	23.73	29.16	34.95	40.98	46.91
1,65	1,45	.....	7.465	10.19	12.89	16.18	20.08	24.70	29.62	34.71	39.70
1,31	1,30	.....	6.390	8.66	10.94	13.70	17.00	20.90	25.10	29.40	33.60
1,04	1,14	.....	5.53	7.48	9.51	11.80	14.50	17.60	21.10	24.60	28.10
0,821	1,02	.....	4.964	6.53	8.23	10.17	12.48	15.11	18.06	21.00	24.03
0,654	0,91	.....	4.26	5.70	7.12	8.77	10.74	12.97	15.46	17.92	20.55
0,517	0,81	.....	3.73	4.97	6.17	7.56	9.24	11.13	13.23	15.30	17.57
0,411	0,724	.....	3.27	4.34	5.34	6.52	7.95	9.55	11.32	13.06	15.03
0,324	0,643	.....	2.87	3.78	4.62	5.62	6.85	8.20	9.69	11.15	12.85
0,259	0,574	.....	2.52	3.30	4.00	4.85	5.89	7.04	8.30	9.52	10.99

SWG 18

Fuente: Manual práctico de electricidad para ingenieros, Donald G. Fink.

Así queda seleccionado el alambre nicrom 80/20 SWG 18, con un diámetro igual a 1,02mm, ya que las intensidades de corriente Calculada y teórica son aproximadas.

$$I_{calculada} = 4.83 A \cong I_{teórica} = 4.964 A$$

Para más detalle del comportamiento de la aleación níquel 80-cromo 20 se considera el anexo 4.

6.6.4 Calor requerido para calentar el aire atmosférico que rodea al alambre.

Debido a que no se puede considerar como aire totalmente seco por el contenido de humedad, se hace referencia a un cambio de entalpía, (Estado 1, T=25°C; Estado 2, T=200°C), para desarrollar este cálculo de la siguiente manera:

ESTADO 1:

Tabla 6-3. Tabla de propiedades a temperatura ambiente (Estado 1).

Propiedad	Valor
$T_{AMBIENTE}$	25 °C
$P_{ATM.}$	101 kPa
HR (ϕ)	80%
C_p	1,006 $\text{kJ}/\text{kg}^\circ\text{K}$
$P_g = P_{SAT@25^\circ\text{C}}$	3,1698 kPa
$h_{g@25^\circ\text{C}}$	2546,5 kJ/kg

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Los valores de la tabla 6-3, fueron tomados de las tablas de los anexos 2, 3 y 8, y también de los registros del anuario meteorológico del INAMHI (presión atmosférica y humedad relativa).

Mediante la aplicación de las ecuaciones 2-12, 2-13 y 2-14, se calculan los valores de presión de vapor y de aire seco, respectivamente.

$$P_v = \phi \cdot P_{sat@25^\circ\text{C}}$$

$$P_v = 0,80 \cdot 3,1698 \text{ kPa}$$

$$P_v = 2,54 \text{ kPa}$$

$$P_a = P_{atm} - P_v$$

$$P_a = 101 \text{ kPa} - 2,54 \text{ kPa}$$

$$P_a = 98,46 \text{ kPa}$$

Una vez que se ha determinado el valor de las presiones, se calcula el grado de humedad contenido en el ambiente, por medio de la ecuación 2-11.

$$\omega = 0,622 \frac{P_v}{P_a}$$

$$\omega = 0,622 \frac{2,54}{98,46}$$

$$\omega = 0,016 \frac{\text{Kg}_{H_2O}}{\text{Kg}_{\text{AIRE SECO}}}$$

Por medio de la ecuación 2-15, establecemos entonces la energía interna del aire contenida en el Estado 1.

$$h_T = CpT + \omega h_g$$

$$h_{T1} = 1,006 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} * 25^\circ\text{C} + 0,016 * 2546,5 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$h_{T1} = \mathbf{65,89} \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}_{\text{AIRE SECO}}}$$

ESTADO 2:

Tabla 6-4. Tabla de propiedades a temperatura requerida de 200°C (Estado 2).

Propiedad	Valor
$T_{AMBIENTE}$	200 °C
$P_{ATM.}$	101 kPa
HR (ϕ)	0%
C_p	1,02 $\frac{kJ}{kg \cdot K}$
$P_g = P_{SAT@200^\circ C}$	1554,9 kPa
$h_{g@200^\circ C}$	2792 $\frac{kJ}{kg}$
ρ	0,7833 $\frac{Kg}{m^3}$

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Los valores de la tabla 6-4, fueron tomados de las tablas de los anexos 2, 3 y 8.

Se considera este estado sin presencia de humedad debido a la temperatura alcanzada, por lo cual el cálculo de la energía interna del aire se determina de la siguiente forma:

$$h_T = C_p T$$

$$h_{T2} = 1,02 \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ C} * 200^\circ C$$

$$h_{T2} = 204 \frac{KJ}{Kg_{AIRE SECO}}$$

Finalmente para conocer el valor de la energía necesaria para calentar el aire circundante al alambre de resistencia Nicrom 80/20, se emplea la ecuación 2-1, de la forma:

$$Q = m \Delta h$$

$$Q = \rho V (h_{T_2} - h_{T_1})$$

$$Q = 0,7833 \frac{Kg}{m^3} * (0,01 * 0,01 * 1,22)m^3 * (204 - 65,89) \frac{KJ}{Kg}$$

$$Q = 0,013KJ = 13,2 J$$

Para un tiempo de calentamiento de 7 segundos:

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} = \frac{13,2}{7} \cdot \frac{J}{s} = 1,89W$$

6.6.5 Cálculo del calor originado por la convección del alambre de resistencia.

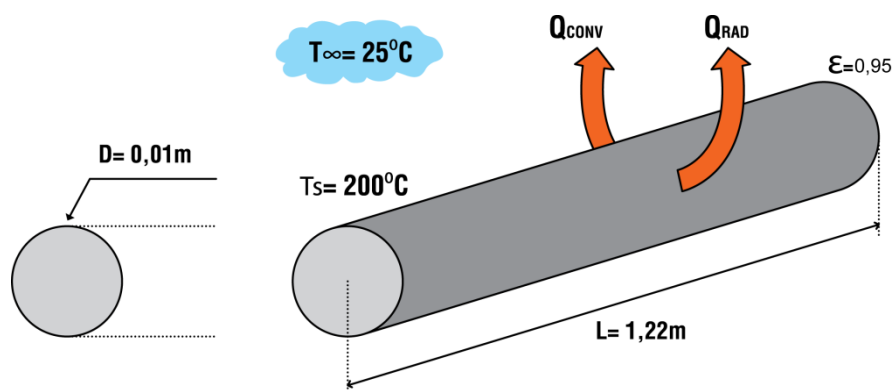


Ilustración 6-2. Esquema del sistema de transferencia de calor.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 6-5. Datos iniciales para el cálculo

Parámetro	Valor
T_s	200°C = 473°K
T_∞	25°C = 298°K
T_f	112,5°C = 385,5°K
Diámetro [D]	1,02 x 10 ⁻³ m
Emisividad [ϵ]	0,95
Longitud	1,22 m

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Tabla 6-6. Propiedades del aire evaluadas a T_f (Anexo 8).

T [°K]	$k \cdot 10^6$	$\alpha \cdot 10^6$	$\nu \cdot 10^6$	Pr
350	30,0	29,9	20,92	0,700
385,5	32,698	35,864	24,8179	0,6929
400	33,8	38,3	26,41	0,690

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

6.6.5.1 Determinación del coeficiente de convección.

Con los datos de las propiedades del aire a temperatura promedio se calcula el número de Rayleigh con la ecuación 2-7:

$$Ra_D = \frac{9.81 \text{ m/s}^2 * 2.594 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1} * 385.5 \text{ K} * (1.02 \times 10^{-3} \text{ m})^3}{24.818 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} * 35.564 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Ra_D = 5.304$$

Para determinar el Número de Nusselt promedio de toda la longitud del alambre, se utiliza la ecuación 2-8, así:

$$\overline{Nu}_D = \left\{ 0.60 + \frac{0.387 * 5.304^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{0.6929} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$\overline{Nu}_D = 1.047$$

El coeficiente de convección viene determinado por la ecuación 2-6:

$$\overline{Nu}_D = \frac{\bar{h} D}{k}$$

$$\bar{h} = \frac{k \overline{Nu}_D}{D}$$

Ecuación 6-5

$$\bar{h} = \frac{32.698 \times 10^{-3} \text{ W/mK} * 1.047}{1.02 \times 10^{-3} \text{ m}}$$

$$\bar{h} = 33.6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Se determina entonces la cantidad de calor por convección, aplicando la ecuación 2-5:

$$\dot{Q}_{CONVEC} = h A_S (T_S - T_\infty)$$

$$\dot{Q}_{CONVEC} = 33.6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} * (\pi * 0.00102 \text{ m} * 1.22 \text{ m}) * (473 - 298) \text{ K}$$

$$\dot{Q}_{CONVEC} = 22,97 \text{ W}$$

6.6.6 Cálculo del calor originado por la radiación del alambre de resistencia.

6.6.6.1 Determinación del coeficiente de radiación.

Debido a la dependencia de la temperatura, del coeficiente de radiación se utiliza la ecuación 2-10 para realizar el cálculo correspondiente.

$$h_r = \varepsilon \sigma A_S (T_S + T_\infty) (T_S^2 + T_\infty^2)$$

$$h_r = 0.95 * 5.67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}^4} * (473 + 298) \text{ K} * (473^2 + 298^2) \text{ K}^2$$

$$h_r = 12,98 \frac{W}{m^2K}$$

De la ecuación 2-9 se concluye:

$$\dot{Q}_{RAD} = h_r * A_S * (T_s - T_\infty)$$

$$\dot{Q}_{RAD} = 12.98 \frac{W}{m^2K} * (\pi * 0.00102m * 1.22m) * (473 - 298)K$$

$$\dot{Q}_{RAD} = 8,88 W$$

6.6.7 Balance de energía del sistema.

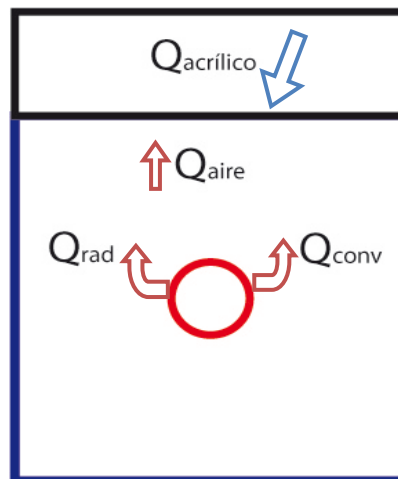


Ilustración 6-3. Sección transversal del sistema de transferencia de energía.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

$$\dot{Q}_{ENTRA} = \dot{Q}_{SALE} \quad \text{Ecuación 6-6}$$

$$\dot{Q}_{ENTRA} = \dot{Q}_{ACRÍLICO}$$

$$\dot{Q}_{SALE} = \dot{Q}_{CONVECCIÓN} + \dot{Q}_{RADIACIÓN} + \dot{Q}_{AIRE} + \dot{Q}_{OTRAS PÉRDIDAS}$$

$$\dot{Q}_{SALE} = 22.97W + 8.88W + 1,89W + \dot{Q}_{OTRAS PÉRDIDAS}$$

$$\dot{Q}_{SALE} = 33,74W + \dot{Q}_{OTRAS PÉRDIDAS}$$

El resultado obtenido se iguala, al cálculo realizado en la sección 6.6.1:

$$\dot{Q}_{ACRÍLICO} = 33,74W + \dot{Q}_{OTRAS PÉRDIDAS} = 62,77W$$

$$\dot{Q}_{OTRAS PÉRDIDAS} = 29,03W$$

De esta manera se determina que el sistema, tiene pérdidas incuantificables del 46,25%, que son ocasionadas por su aplicación directa al aire atmosférico, además también influye la precisión de los equipos de medida o por las condiciones en las que el sistema es evaluado.

6.6.8 Circuito eléctrico del sistema.

El circuito eléctrico consta de los siguientes elementos:

- Línea de control:
 - Termocupla.
 - Controlador de temperatura PID.
 - Relé en estado sólido.
- Línea de Potencia:
 - Alambre de resistencia Nicrom 80/20.
 - Fuente DC $12 \pm 1V - 100W$.

6.6.8.1 Línea de Control del Circuito.

6.6.8.1.1 Termocupla.

Para determinar el tipo de termocupla a utilizar, se debe tener presente el límite máximo de temperatura (200°C) y la velocidad de respuesta ante el sensado (entre mayor sea, se mejora importantemente el tiempo de respuesta del controlador).

La termocupla utilizada es entonces una tipo K 12" rígida (modificable), con elementos de aislamiento cerámico y tubos de protección; a pesar de sobredimensionar el límite de temperatura (1260 °C), la velocidad de respuesta es

más rápida con esta termocupla, por lo que se mejora la precisión del sistema en general sin hacer una inversión adicional significativa.

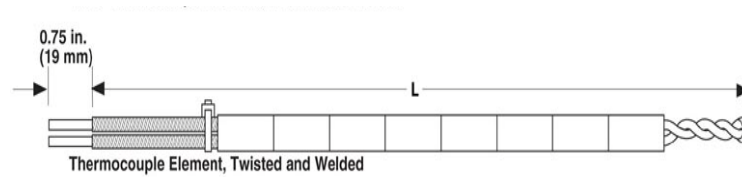


Ilustración 6-4. Esquema de la termocupla Watlow tipo K.

Fuente: http://www.watlow.es/products/sensors/se_therm.cfm



Ilustración 6-5. Termocupla Watlow Utilizada.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

6.6.8.1.2 Controlador de Temperatura PID.

Un controlador PID reúne conjuntamente las características de tres términos: proporcional, integral y derivativo, teniendo la mayor influencia en la industria de procesos.

Su implantación se debe a los siguientes factores:

- La actuación en función de la señal de error proporciona una estructura de realimentación negativa, es decir, a pesar de la presencia de perturbaciones, se puede obtener un comportamiento satisfactorio, para una amplia gama de procesos.

- Mayor velocidad de respuesta ante las permutaciones de configuración.

El controlador Watlow, además de cumplir con lo descrito anteriormente,

- Reduce los tiempos de cableado y la complejidad de las terminaciones en comparación con la conexión de productos discretos.
- Reduce el espacio requerido en el panel, como se aprecia en el Anexo 6. Disminuyendo los costos de instalación.
- Aumenta la seguridad del usuario y del equipo para condiciones de caída de temperatura o temperatura excesiva.

Su función de auto sintonización ahorra tiempo y proporciona precisión al lazo de control del sistema.



Ilustración 6-6. Controlador Watlow PID.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Las características tanto de alimentación como de salida, se muestran en el anexo5.

Su sistema de funcionamiento permite enlazarlo directamente con los componentes seleccionados antes (SSR, Fuente, Termocupla), sin problemas.

6.6.8.1.3 Relé en estado Sólido (SSR).

El relé en estado sólido (SSR) es un elemento que permite aislar eléctricamente el circuito de entrada o mando y el circuito de salida. (OMRON ELECTRONICS S.A. Guía de SSR)

Para demostrar la razón por la que se utiliza un SSR y no un relé magnético convencional se presenta la siguiente tabla:

Tabla 6-7. Características de Relés.

Tipo de Relé	Ventajas	Inconvenientes
SSR	<ul style="list-style-type: none"> * Conexión con paso por 0 en AC. (Opcional). * Desconexión a I=0. * Al no existir partes móviles, no se producen arcos ni rebotes. * Control a baja tensión. * Vida útil prolongada. * Funcionamiento silencioso. * Fácil mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> * Ante perturbaciones su circuito es muy sensible. * Es necesario aplicar protecciones externas. (Disipadores de calor) * Tecnológica y conceptualmente son más complejos. * Sensibles a sobretensiones y temperatura.
Relé Electromagnético	<ul style="list-style-type: none"> * Bajo consumo. * Dimensiones reducidas en aplicaciones de baja potencia. * Varios contactos. * Tecnología evidente. * Control indistinto AC o DC. 	<ul style="list-style-type: none"> * Ruido considerable. * Dimensiones amplias en aplicaciones de potencia. * Presencia de chispas, arco y rebotes. * Maniobra lenta. * Menor vida útil.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Es evidente el uso de un SSR con un controlador PID, debido a que se originan conmutaciones muy rápidas en el proceso para alcanzar una temperatura constante, sus parámetros operativos se definen en cuanto a la intensidad de corriente del sistema y el tipo de señal del controlador, en este caso el SSR debe tener la capacidad de activar su entrada con un voltaje de 4 a 32 V en DC (Voltaje dotado por el PID), y en la línea de potencia soportar mínimo el valor de $I_T = 6.3 A$ (Intensidad total del sistema, sección 6.6.2.1). La I_T constituye la carga resistiva que se aplicará, es decir, la relación entre el pico de corriente en la conmutación y la corriente nominal es 1, de esta forma la corriente y la tensión están en fase, previniendo problemas en el funcionamiento del SSR.



Ilustración 6-7. SSR utilizado.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

Además se debe tener en cuenta la implementación de un disipador, ya sea con o sin aire forzado, dependiendo de la condición de trabajo.

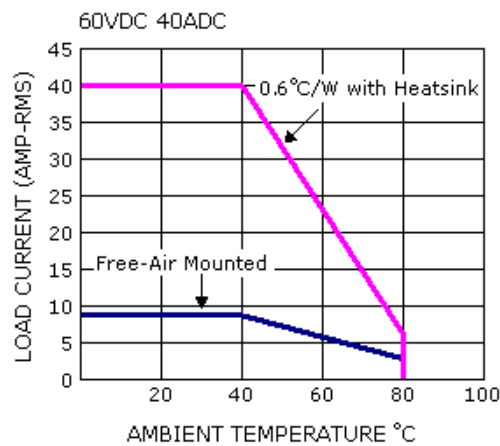


Ilustración 6-8. Relación temperatura ambiente-corriente de carga para SSR.

Fuente: <http://www.ece.com.tw>

Todas las características técnicas del SSR se las puede visualizar en el anexo 6.

6.6.8.2 Línea de Potencia del Circuito.

Las especificaciones de los componentes se determinaron previamente en las secciones 6.6.2 y 6.6.3.

El sistema en su totalidad se resume en el siguiente diagrama básico:

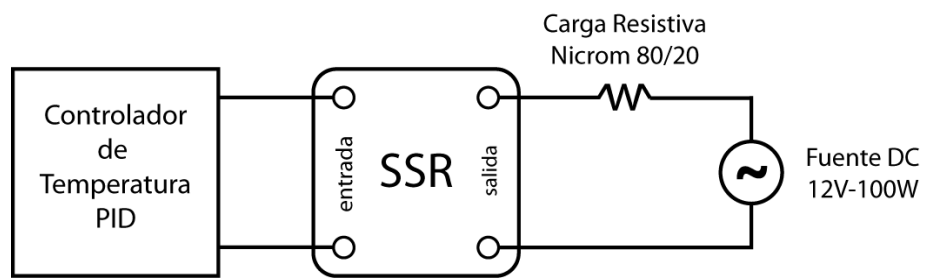


Ilustración 6-9. Diagrama eléctrico del sistema.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

6.7 METODOLOGÍA.

En la siguiente tabla se muestra, un orden sistemático para comprender y aplicar el estudio:

Etapas	Objetivos	Actividades	Recursos	Responsable
Socialización y apreciación idea principal	Presentación del proyecto al Sr. Paúl Morales, dueño de Morce Publicidad.	* Presentación, enfoque y discusión del proyecto. * Planteamiento de requerimientos	* Humano * Informe de estado.	Investigador
Planificación	Determinar un sistema alternativo de calentamiento, para realizar las pruebas controlando tiempo y temperatura.	* Ejecución de las pruebas experimentales.	* Humano * Prototipo del calentador.	Investigador
Ejecución	Implementación del sistema funcional a través del prototipo apropiada para un correcto calentamiento	* Presentación de la propuesta. * Estudio y aprobación del presupuesto para la puesta en marcha.	* Humano. * Cotizaciones. * Proformas. * Insumos de oficina.	Investigador
Evaluación	Verificar las características de las placas calentadas y dobladas.	* Inspección de la defectología y registro del análisis visual.	* Humano * Lista de chequeo y observaciones.	Investigador

6.8 ADMINISTRACIÓN.

Se analiza detalladamente los costos del proyecto de la siguiente manera:

6.8.1 Costos directos. [CD]

a. Costos de Elementos Eléctricos y Electrónicos. [CEE]

Tabla 6-8. Detalle Costo CEE.

N°	Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Precio Total	
1	Control de Temperatura Watlow PM	1	297,52	297,52	
2	Relay SSR 25 Amp Ece	1	22,82	22,82	
3	Termocupla K 12" rígida	1	21,43	21,43	
4	Cable ext. Termocupla K, 24 AWG	2	4,15	8,30	
5	Bornera cerámica 1 elemento	1	11,50	11,50	
6	Alambre de resistencia Ni-Cr 80/20 SWG 18	3	1,01	3,03	
6	Fuente DC conmutable	1	106,40	106,40	
7	Bornera cobre alta temperatura	4	1,00	4,00	
8	Cable blindado AWG 16	3	5,00	15,00	
9	Terminales para conexión	100	0,04	4,00	
10	Interruptor on/off con led indicador	1	4,46	4,46	
11	Fusible	1	2,36	2,36	
12	Breacker de protección 10A	1	4,31	4,31	
13	Cable de fuerza 2x14	2	4,20	4,20	
14	Conector a toma corriente	1	2,00	2,00	
				Subtotal	515,53
				Imprevisto 10%	51,55
				Total	567,08

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

b. Costos de Elementos de Bancada. [CEB]

Tabla 6-9. Detalle Costo CEB.

Nº	Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Precio Total
1	MDF HR Melamínico	1	77,42	77,42
2	Panel de Al Comp.	1	28,80	28,80
3	Cinta teflón	1	35,00	35,00
4	Tornillos	50	0,05	2,50
Subtotal				143,72
Imprevisto 10%				14,37
Total				158,09

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

6.8.2 Costos indirectos. [CI]

a. Costos de Servicio de Maquinaria. [CS]

Tabla 6-10. Detalle Costo CS.

Nº	Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Precio Total
1	Corte en Router	3	15,00	45,00
Subtotal				45,00
Imprevisto 10%				4,50
Total				49,50

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

b. Costos de Mano de Obra. [CMO]

Tabla 6-11. Detalle Costo CMO.

Nº	Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Precio Total
1	Oficial para ensamblaje	40	2,19	85,00
2	Supervisor	40	5,00	200,00
Subtotal				285,00
Imprevisto 10%				28,50
Total				313,50

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

c. Costos Varios. [CV]

Tabla 6-12. Detalle Costo CV.

Nº	Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Precio Total
1	Transporte	160	0,25	40,00
2	Impresiones	840	0,05	42,00
3	Internet	2	28,00	56,00
4	Material oficina	1	20,00	20,00
Subtotal				158,00
Imprevisto 10%				15,80
Total				173,80

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

6.8.3 Costo total del proyecto. [CT]

$$CT = CD + CI$$

Tabla 6-13. Detalle Costo Total.

Costos	Valor
Elementos de Bancada	158,09
Elementos Eléctricos y Electrónicos	567,08
Servicio de Maquinaria	49,50
Mano de Obra	313,50
Varios	173,80
Total	1261,98

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

El costo total del proyecto planteado es **1261,98** dólares.

6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN.

El prototipo responde correctamente teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Confirmar siempre que las conexiones eléctricas estén bien ajustadas.
- No manipular la posición de la termocupla para evitar errores de medición.
- No obstruir la zona de ventilación de la fuente para evitar sobrecalentamiento
- Configurar correctamente el set point (temperatura) en el controlador.

En cuanto al mantenimiento se deben realizar inspecciones periódicas en función del uso aplicado, mínimo dos veces por mes, en especial del alambre de resistencia, debido a sus iteraciones de temperatura. Si el caso lo amerita se reemplaza el alambre sin problemas.

Para cumplir con un orden sistemático y controlado en la producción de artículos publicitarios de buena calidad, se adjunta el siguiente diagrama de flujo del proceso a seguir (ilustración 6-10), además se apoya en la guía descrita a continuación, en la que constan aspectos muy importantes que afectan los resultados esperados.

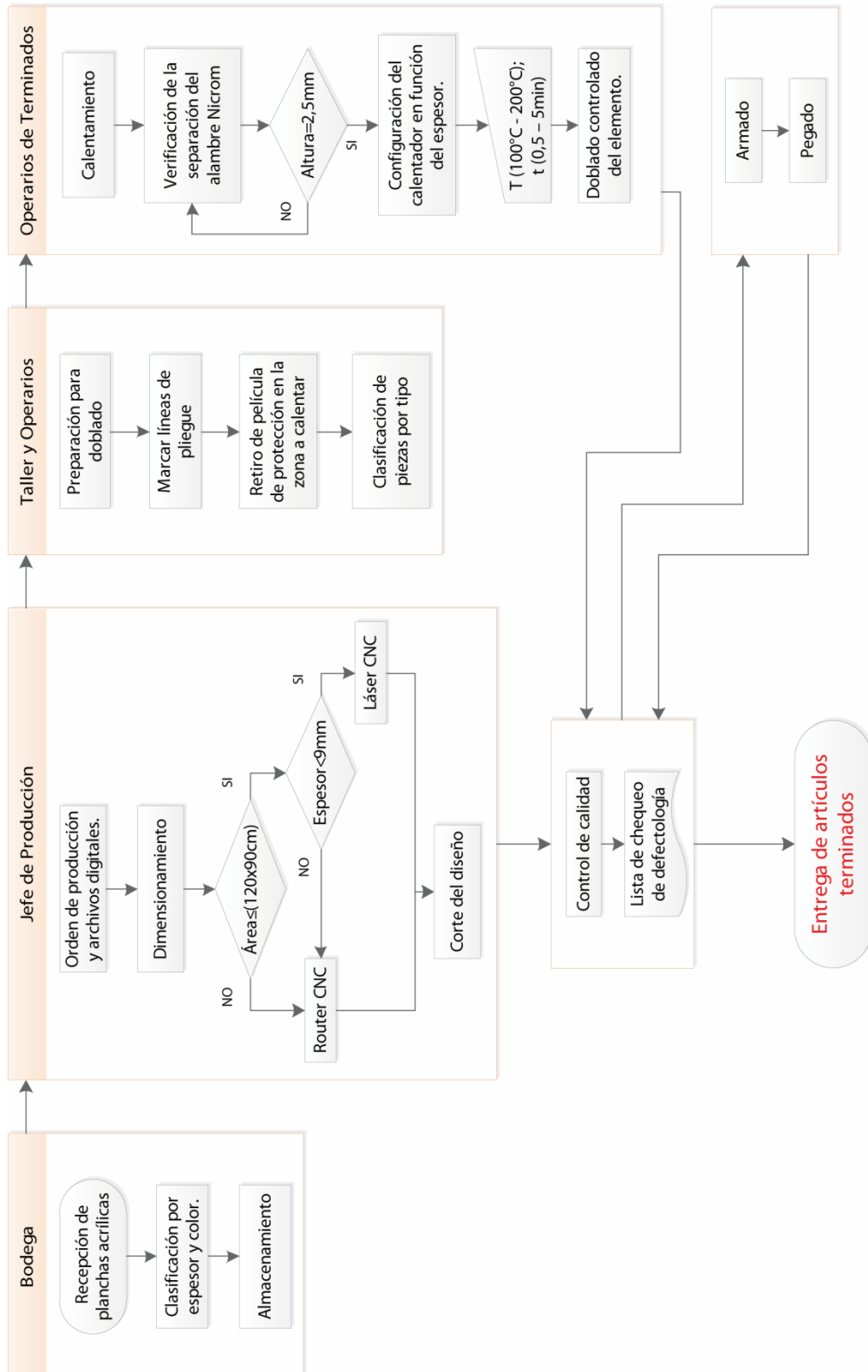


Ilustración 6-10. Diagrama para calidad del proceso de elaboración de artículos publicitarios en PMMA.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

GUÍA DE TRABAJO PARA OBTENER ARTICULOS DOBLADOS ACEPTABLES

PROCESO CLAVE CALENTAMIENTO.

1. Cumplir la orden del bloque de jefe de producción.
2. Preparar las piezas a doblar, de acuerdo al bloque de taller y operarios, para posteriormente pasar al bloque de terminados.
3. Al medir la altura del alambre de resistencia se debe considerar lo siguiente:

A mayor distancia, la superficie calentada se expande hacia los bordes, es decir, se concentra el calor más en las paredes que en la misma placa, además el tiempo para llegar a una temperatura constante de trabajo, se prolonga hasta en un 300%, en comparación con el sistema con el alambre cercano a la placa (distancia=2,5mm), en este caso, para una distancia de 8mm y $T=200^{\circ}\text{C}$, el tiempo resultante fue de 27 segundos.

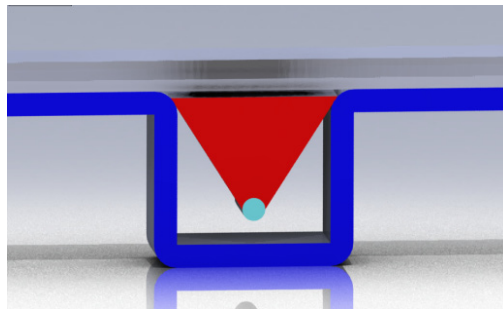


Ilustración 6-11. Representación de una separación mayor entre la placa acrílica y el alambre de resistencia Nicrom.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

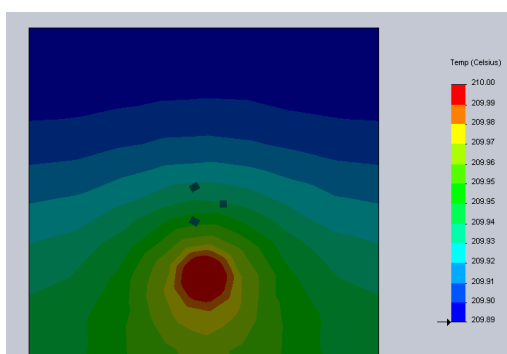


Ilustración 6-12. Simulación térmica de la ilustración 6-11. Formación del penacho de transferencia en dirección opuesta a la placa.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

A menor distancia el calentamiento se centraliza linealmente, disminuyendo el ancho de la superficie expuesta y de igual forma el tiempo para obtener la temperatura constante de trabajo. Para $T=200^{\circ}\text{C}$ a una distancia de 2,5mm de separación alambre-placa, se obtuvo un tiempo de 7 segundos, de esta forma se obtienen radios de doblez aceptables, con longitudes de arco que superan mínimamente el espesor del material.

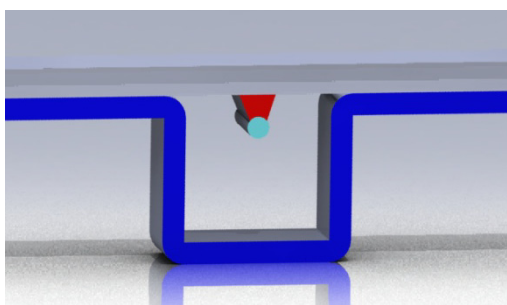


Ilustración 6-13. Representación de una separación mínima entre la placa acrílica y el alambre de resistencia Nicrom.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

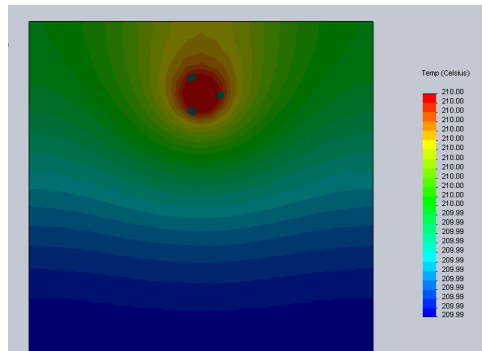


Ilustración 6-14. Simulación térmica de la ilustración 6-13. Formación del penacho de transferencia directamente hacia la placa expuesta.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

4. Aplicar la siguiente tabla informativa con la relación temperatura-tiempo de exposición, para configurar el PID y así evitar la aparición de defectos en las placas:

Tabla 6-14. Parámetros de calentamiento en función del espesor para lámina acrílica Acrilux.

Espesor [mm]	Temperatura [°C]	Tiempo de exposición [min]	Tiempo de exposición [seg]
2	100	5	300
	150	2	120
	200	0,5	30
3	150	5	300
	200	0,5	30
4	150	5	300
5	150**	5	300

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

** La condición es aplicable únicamente cuando se someten al calentamiento, ambos lados de la placa.

5. Siempre se debe dejar el lado directamente expuesto al calentamiento hacia fuera.

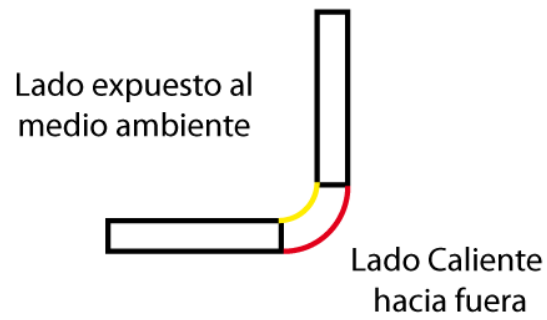


Ilustración 6-15. Representación para la dirección de doblado.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

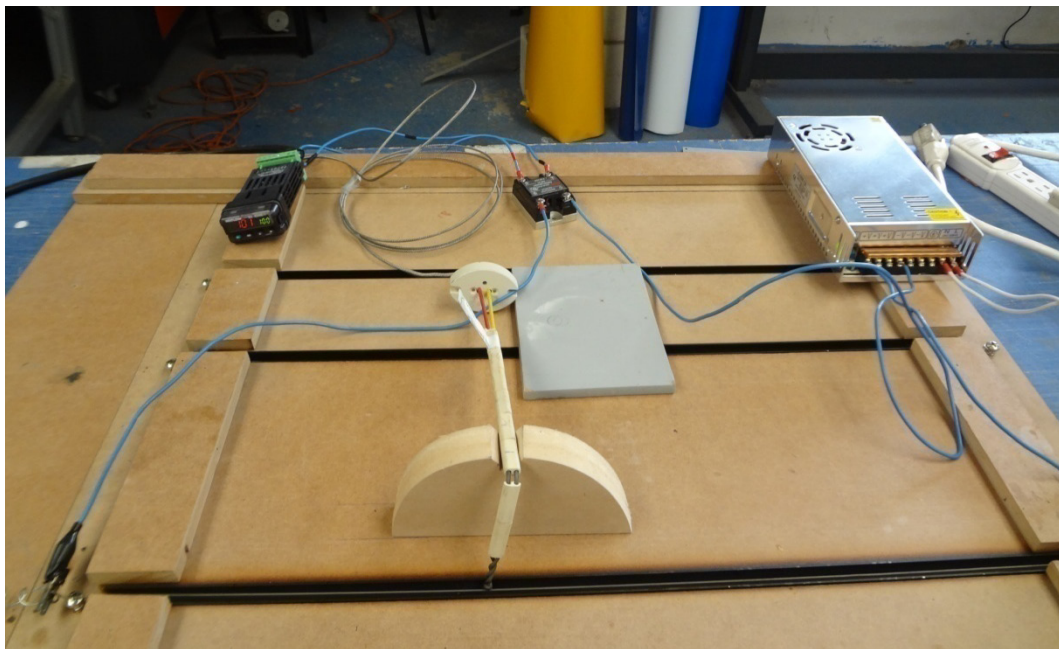


Ilustración 6-16. Prototipo Del Calentador Eléctrico.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

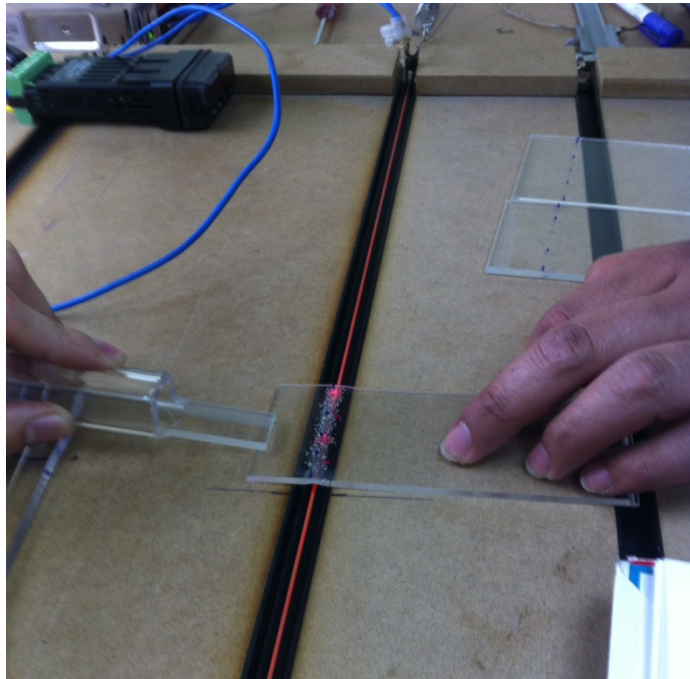


Ilustración 6-17. Calentamiento de una probeta de 3mm.

Fuente: Egdo. David S. Peñaloza M.

BIBLIOGRAFÍA

Libros

- HOLMAN, J. P.(1999). “*Transferencia de calor*”. McGraw-Hill. México. Traducción (Dr. Raúl Valenzuela M.) de 8ª Edición.
- KERN, Donald Q (1999). “*Procesos Transferencia De Calor*”. McGraw-Hill. México. Traducción (Ing. Nicolás Marino Ambrossi) de 1ª Edición.
- CENGEL, Yunus A.“*Transferencia de calor*”, Editorial McGraw-Hill, México, 2ª Edición
- INCROPERA, F y DE WITT, D. “*Fundamentos de transferencia de calor*”. Traducido (Ricardo Cruz). 4ª Edición. México, Prentice Hall.
- SMITH, William F. (1998), “*Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*”. McGraw-Hill España. Traducido (Alicia Larena Pellejero). 3ª Edición.
- CALLISTER William. (1996), “*Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*”. Editorial Reverté S.A.
- DONALD G. Fink, H. WAYNE Beaty, JOHN M. Carroll. “*Manual práctico de electricidad para ingenieros*”.
- KREITH Frank (2012), “*Principios de Transferencia de Calor*”, México D.F. Cengage Learning Editores

Internet

- Características generales del PMMA.
[http://www.plasticos-mecanizables.com/plasticos_metacrilato.html]
- Empresa de producción de láminas acrílicas Acrilux S.A.
[<http://acrilux.com.ec/productos.html>]

- Especificación de termocupla Watlow:
[<http://www.watlow.es/downloads/en/specsheets/ricga0812.pdf>]
- Parámetros de funcionamiento de Relés Sólidos ECE:
[<http://www.ece.com.tw>].
- Propiedades Alambre de resistencia Nicrom.
[<http://www.evek.es/nihrom.html>]
- Digimizer software libre para análisis dimensional de fotografías.
[<http://www.digimizer.com/index.php>]

Archivos PDF y Revistas.

- MANUAL DE LÁMINA ACRILICA PLASTIGLAS SA.
[http://www.plastiglas.com.mx/images/content/PLASTIGLAS_INST/uploads/1167953021504Termoformado.pdf]
- FICHA TÉCNICA DE LÁMINAS **PMMA NUDEC**
[[http://www.nudec.es/media/00pdfs/01cast/Ficha-tecnica-NUDEC-PMMA-\(cas\).pdf](http://www.nudec.es/media/00pdfs/01cast/Ficha-tecnica-NUDEC-PMMA-(cas).pdf)]
- Guía de Maquinado PLEXIGLAS.
- TEODORO ALAMO CANTARERO, *Diseño del Controlador PID*,
[http://www.esi2.us.es/~alamo/Archivos/Certificaciones/Sec_9_Otras_Publicaciones/Docente/AlamoPIDTotal.pdf].
- RAMIREZ RODRIGO, *Diseño de productos: una oportunidad para innovar*.
[www.uia.org.ar || diseñoindustrial@uia.org.ar]
- GE Plastics, *Thermoforming Processing Guide*

[[http://gaetanmabille.free.fr/R%E9gles%20de%20conception/thermoforming%20design%20guide%20\(GE%20Plastics\).pdf](http://gaetanmabille.free.fr/R%E9gles%20de%20conception/thermoforming%20design%20guide%20(GE%20Plastics).pdf)].

- Juan José Tarí Guilló (2003), “*Calidad total: fuente de ventaja competitiva*”, Publicaciones Universidad de Alicante.

ANEXOS

1. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA LÁMINA ACRÍLICA PLASTIGLAS.

PROPIEDAD*	MÉTODO DE PRUEBA ASTM	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR
ÓPTICAS					
Peso específico	D792-64T		1.19		1.19
Poder de dispersión			0.0174		0.0174
Índice de refracción	D542-50	ND	1.49	ND	1.49
Trans. de luz (Cristal)	D1003-61	%	92	%	92
Trans. de luz UV a 320 mu		%	5	%	5
Haze	D1003-61	%	3	%	3
MECÁNICAS					
Resistencia a la tensión Ruptura	D638-64T	Kg/cm ²	700-760	PSI	10,000-11,000
Módulo de elasticidad		Kg/cm ²	28,000-30,000	PSI	400,000-425,000
Elongación a la ruptura		%	4.5	%	4.5
Resistencia a la flexión Ruptura	D790-63	Kg/cm ²	1,050- 1,125	PSI	15,000-16,000
Módulo de elasticidad		Kg/cm ²	28,000	PSI	400,000
Resist. a la compresión	D780-63T	Kg/cm ²	1,260	PSI	18,000
Resist. a esfuerzo cortante	D732-46	Kg/cm ²	630-700	PSI	9,000-10,000
Resistencia al impacto Charpy	D256-56	Kg/m	0.48	ft/lbs.	35
Izod		Kg-cm/cm	3 x 10 ⁴	ft. lbs./in	0.4-0.5
Dureza (rockwell)	D785-62		M-100		M-100
TÉRMICAS					
Temperatura de formado		°C	140-180	°F	280-360
Coefficiente de expansión	D696-44	cm/cm/°C	9 x 10 ⁻⁵	in/in/°F	4 x 10 ⁻⁵
Coefficiente de expansión X volumen		°C	2.7x10 ⁻⁴		
Temp. máxima de servicio		cal/seg. cm ²	80	°F	176
Conductividad térmica		cm/min.	5x10 ⁻⁴	BTU/hr. ft. ²	14
Flamabilidad	D-635	cal/gr°C	3	in/min.	1.2
Calor específico			0.35	BTU/lb. °F	0.35
ELÉCTRICAS					
Resistencia dieléctrica	D149-61	Kvolt/mm	20	volt/mil	500
Constante dieléctrica 60 ciclos	D150-59T		4		4
10 ² ciclos			4		4
10 ⁶ ciclos			3		3
Resistencia al arco	D495-61		sin huella		sin huella
Resistencia (volumen)	D257-66	ohm-cm	1.6 x 10 ²⁵	ohm-cm	1.6 x 10 ²⁵
Resistividad (superficie)	D257-66	ohm	1.9 x 10 ²⁵	ohm	1.9 x 10 ²⁵
Absorción de agua 0.2-0.3% por peso después de 24 de inmersión					

2. PROPIEDADES DEL PMMA.

Poly(methyl methacrylate)

SHAW LING HSU

ACRONYM, TRADE NAMES PMMA, Plexiglas, Lucite

CLASS Vinylidene polymers; acrylics

STRUCTURE $-\text{[CH}_2\text{-C(CH}_3\text{)(COOCH}_3\text{)]-}$

CHEMICAL REGISTRY NUMBER 9011-14-7

PROPERTIES OF SPECIAL INTEREST Optically clear (92% transmission, theoretical limit for normal incidence, in the visible region) through the visible wavelength range; very little ultraviolet absorption until 260 nm. Good mechanical properties. Extremely high weatherability. Commercial materials are usually atactic polymers (~75% syndiotactic), although isotactic and syndiotactic polymers have been synthesized. High sensitivity to electron radiation.

MAJOR APPLICATIONS Replacement for glass. Can be used as one-component-deep UV, electron-beam, or ion-beam resists in the manufacture of microelectronics chips.^(1,2)

PROPERTY	UNITS	CONDITIONS	VALUE	REFERENCE	
Tacticity		Commercial grade materials generally have 50-70% syndiotactic, ~30% atactic, and <10% isotactic dyads		(3)	
IR (characteristic absorption frequencies)	cm ⁻¹	Methylene stretching vibrations, assigned to asymmetric and symmetric CH ₂ stretching vibrations	2,958 and 2,933	(4)	
		Ester methyl stretching vibrations	2,995, 2,948, and 3,025		
		Carbonyl vibration	1,733		
NMR	ppm	Atactic, vs. TMS	1.9	(5)	
		Syndiotactic	—		
		Isotactic, pair of doublets, vs. TMS	1.5-2.5		
Effects of radiation	C cm ⁻²	Sensitivity to electron beam at an electron-beam energy of 25 keV	10 ⁻⁵	(6)	
		Main chain scission (0.5 J cm ⁻² at 26 keV)	0.46		(6)
	Å	UV			(7)
		50%	2,000		
		57%	2,200		
		78%	2,400		
		78%	2,600		
78%	3,000				
	Main chain scission (4-6 eV, 0.6 J cm ⁻²)	0.22	(6)		

Poly(methyl methacrylate)				
PROPERTY	UNITS	CONDITIONS	VALUE	REFERENCE
Effects of radiation	—	Ion beam (0.48 J cm ⁻² ; 300 keV)	0.75	(6)
	%	Effective visible range		—
		Transmission	92	
		Haze	2	
Density	g cm ⁻³	—	1.17–1.20	(8)
Glass transition temperature	K	Atactic polymer	379	(8)
			387.3	(9)
			386	(10)
		Isotactic polymer	318	(1, 10)
			324	(11)
Syndiotactic polymer	120 → 140°C	(1, 10, 11)		
Heat deflection temperature	K	1.82 MPa	341.3–371.9	(8)
Dielectric constants	—	50 Hz, 25°C	3.5–3.7	(12–14)
		1,000 Hz	3.3	(14)
		1.0 × 10 ⁶ Hz	2.2–2.5	(14)
Water absorption	%	1/8 in bar, 24 h	0.3–0.4	(8)
			2	(13)
			0.1–0.3	(14)
Thermal expansion coefficient	—	—	6 × 10 ⁻⁴ > T _g	(12)
			2–3 × 10 ⁻⁴ < T _g	
Crystalline structures for PMMA	—	—	Isotactic PMMA	—
			Only in crystalline phase when complexed with various solvents		Syndiotactic PMMA	(15, 16)
Unit cell parameters	Å	Isotactic isomer	a = 20.98, b = 12.06, c (fiber axis) = 10.40	(17)
		With chloroacetone	a = 25.8, b = 35.1,	(16)
		Irrespective of the type of solvent	c = 35.4 (fiber repeat)	(16)
Index of refraction	—	—	1.49	(8, 12)
Tensile strength	MPa	—	48–76	(1, 8)
Fracture toughness	MPa m ^{1/2}	23°C, air	1.21	(9)
		37°C, water	1.76	
Elongation	%	—	2–10	(8)
Tensile modulus	MPa	—	3,100	(8)
		23°C, air	3,180	(9, 14)
		37°C, water	2,700	(9, 14)

Poly(methyl methacrylate)				
PROPERTY	UNITS	CONDITIONS	VALUE	REFERENCE
Poisson's ratio	—	—	0.35	(14)
Flexural modulus	MPa	—	2,900–3,100	(1)
Melt flow rate	—	Low heat-resistance material High heat-resistance material	20–30 2–4	(1)
Notched impact strength	J m ⁻¹	—	16–27	(8)
Continuous use temperature	K	—	364–382	(1)
Typical solvents	Ethanol, isopropanol, methyl ethyl ketone, formic acid, nitroethane Any alcohol solution containing 10% alcohol may attack PMMA			(14)
Typical nonsolvent	Turpentine, carbon tetrachloride, butylene glycol, diethyl ether, isopropanol ether, <i>m</i> -cresol			—
Suppliers	DuPont, Rohm and Haas, Continental			

REFERENCES

1. Thompson, L. F., C. G. Willson, and J. M. J. Frechet., eds. *Materials for Microlithography: Radiation-Sensitive Polymers*. American Chemical Society, Washington, D.C., 1984, vol. 266.
2. Htoo, M. S., ed. *Microelectronic Polymers*. Marcel Dekker, New York, 1989.
3. Salamone, J. C., ed. *Polymeric Materials Encyclopedia*. CRC Press, New York, 1996.
4. Lipschitz, I. *Polym-Plast Technol Eng.* 19 (1982): 53.
5. Schilling, F. C., et al. *Macromolecules* 18 (1985): 1,418.
6. Clough, R. L., and S. W. Shalaby, eds. *Radiation Effects on Polymers*. American Chemical Society, Washington, D.C., 1991, vol. 475.
7. Lin, B. J. *J. Vac. Sci. Technol.* 12 (1975): 1,317.
8. Billmeyer, F. W. J. *Textbook of Polymer Science*. John Wiley and Sons, New York, 1984.
9. Johnson, J. A., and D. W. Jones. *J. Mat. Sci.* 29 (1994): 870.
10. John, E., and T. Ree. *J. Polym. Sci., Part A*, 28 (1990): 385–398.
11. Kitayama, T., et al. *Polymer Bulletin* 23 (1990): 279–286.
12. Wunderlich, W., ed. *Physical Constants of Poly(methyl methacrylate)*, 2d ed. John Wiley and Sons, New York, 1975.
13. Mazur, K. *Journal of Physics D: Applied Physics* 30 (1997): 1,383–1,398.
14. Rohm and Haas General Information on PMMA.
15. Fox, T. G., et al. *J. Am. Chem. Soc.* 80 (1958): 1,768.
16. Kusuyama, H., et al. *Polymer Communications* 24 (1983): 119–122.
17. Tadokoro, H. *Structure of Crystalline Polymers*. John Wiley and Sons, New York, 1970.

Fuente: Polymer Handbook

3. PROPIEDADES PARA DETERMINAR HUMEDADES.

TABLA A-4
 Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., T °C	Pres. sat., P _{sat} kPa	Volumen específico, m ³ /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Liq. sat., v _f	Vapor sat., v _g	Liq. sat., u _f	Evap., u _{fg}	Vapor sat., u _g	Liq. sat., h _f	Evap., h _{fg}	Vapor sat., h _g	Liq. sat., s _f	Evap., s _{fg}	Vapor sat., s _g
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7927
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7067
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302

4. PROPIEDADES DE LAS ALEACIONES NIQUEL-CROMO.

Composición	Aleación 80 Ni-20 Cr	Aleación 60 Ni-16 Cr	Aleación 35 Ni-20 Cr
Composición, %:			
Níquel	Resto	(57 min)	34-37
Cromo	19-21	14-18	18-21
Manganeso	(2,5 máx)	1,0 (máx)	1,0 (máx)
Carbono	0,15 (máx)	0,15 (máx)	0,15 (máx)
Silicio	0,75-1,5	0,75-1,5	1,0-3,0
Azufre	0,01 (máx)	0,01 (máx)	0,01 (máx)
Hierro	1,0 (máx)	Resto	Resto
Alargamiento mínimo en 10":			
N.º 39 AWG y superiores, %	20	20	20
N.º 40 a 44, %	10	10	10
Resistividad nominal a 77°F (25°C):			
Alambre redondo, Ω (cmil, pie)	650	675	610
Alambre redondo, μΩ · cm	108	112,2	101,7
Tira, Ω (mil ² , pie)	510	530	478
Tira, μΩ · cm	108	112,2	101,7
Variación media de la resistencia con la temperatura:			
2000°F (1093°C)	1,014	1,102	1,235
1800°F (982°C)	1,007	1,090	1,225
1600°F (871°C)	1,003	1,082	1,214
1400°F (760°C)	1,003	1,073	1,196
1200°F (649°C)	1,007	1,069	1,178
1000°F (538°C)	1,019	1,066	1,156
900°F (482°C)	1,023	1,063	1,144
800°F (427°C)	1,022	1,058	1,130
600°F (315°C)	1,017	1,044	1,100
400°F (204°C)	1,011	1,026	1,065
200°F (93°C)	1,004	1,010	1,026
77°F (25°C)	1,000	1,000	1,000

FUENTE: Manual práctico de electricidad para ingenieros, Donald G. Fink.

5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CONTROLADOR PID WATLOW.

Terminal Definitions		
Slot C	Terminal Function	Model
98 99	power input: ac or dc+ power input: ac or dc-	PM _C_ _ _ - AAAAB _ _
CF CD CE	Standard Bus EIA-485 common Standard Bus EIA-485 T-/R- Standard Bus EIA-485 T+/R+	PM _C_ _ _ - AAAAB _ _
Slot A		
Input 1		
T1 S1 R1	(RTD) or current +, (RTD), thermocouple -, current - or volts -, thermistor S1 (RTD), thermocouple + or volts +, thermistor	Universal Sensor input 1: all configurations
Outputs		Terminal Function
		Configuration
1	2	
X1 W1 Y1	common (Any switched dc output can use.) dc- (open collector) dc+	Switched dc/open collector, output 1: PM _C_ (C) _ - AAAB _ _
	W2 Y2	dc- dc+
		Switched dc, output 2: PM _C_ _ (C) - _ AAAB _ _
F1 G1 H1	voltage or current - voltage + current +	Universal Process, output 1: PM _C_ (F) _ - _ AAAB _ _
L1 K1 J1	normally open common normally closed	Mechanical Relay 5 A, Form C, output 1: PM _C_ (E) _ - AAAB _ _
	L2 K2	normally open common
		NO-ARC 15 A, Form A, output 2: PM (4, 6, 8, 9) C _ _ (H) - _ AAAB _ _
	L2 K2	normally open common
		Mechanical Relay 5 A, Form A, output 2: PM _C_ _ (J) - _ AAAB _ _
L1 K1	L2 K2	normally open common
		Solid-State Relay 0.5 A, Form A output 1: PM _C_ (K) _ - _ AAAB _ _ output 2: PM _C_ _ (K) - _ AAAB _ _

Specifications

Line Voltage/Power

- All voltage levels represent minimums and maximums
- 85 to 264V~(ac), 47 to 63Hz
- 20 to 28V~(ac), +10/-15 percent; 50/60Hz, ± 5 percent
- 12 to 40V=(dc)
- 10VA maximum power consumption (PM3 and PM6)
- 14VA maximum power consumption (PM4, 8 and 9)
- Data retention upon power failure via nonvolatile memory
- Compliant with SEMI F47-0200, Figure R1-1 voltage sag requirements @ 24V~(ac) or higher

Environment

- -18 to 65°C (0 to 149°F) operating temperature
- -40 to 85°C (-40 to 185°F) storage temperature
- 0 to 90 percent RH, non-condensing

Accuracy

- Calibration accuracy and sensor conformity: ± 0.1 percent of span, $\pm 1^\circ\text{C}$ @ the calibrated ambient temperature and rated line voltage
 - Type S, 0.2 percent
 - Type T, below -50°C ; 0.2 percent
- Calibration ambient temperature @ $25^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ ($77^\circ\text{F} \pm 5^\circ\text{F}$)
- Accuracy span: 540°C (1000°F) minimum
- Temperature stability: $\pm 0.1^\circ\text{C}/^\circ\text{C}$ ($\pm 0.1^\circ\text{F}/^\circ\text{F}$) rise in ambient maximum

Agency Approvals

- cULus® UL/EN/CSA C22.2 No. 61010-1 Listed File E185611
- cULus® ANSI/ISA 12.12.01-2007, CSA-C22.2 No.213-1987, Class 1 Division 2 Groups A, B, C and D, Temperature Code T4A, File E184390 (optional)
- UL® 50, 4X indoor locations, NEMA 4X, IP66 front seal
- CSA C22.2 No. 24 File 158031 (1/32 and 1/16 DIN sizes)
- CE, RoHS by design, W.E.E.E.
- SEMI F47-0200

Controller

- User selectable heat/cool, on-off, P, PI, PD, PID or alarm action
- Auto-tune control algorithm
- Control sampling rates: input = 10Hz, outputs = 10Hz
- Input and output capacity per controller type ordering information

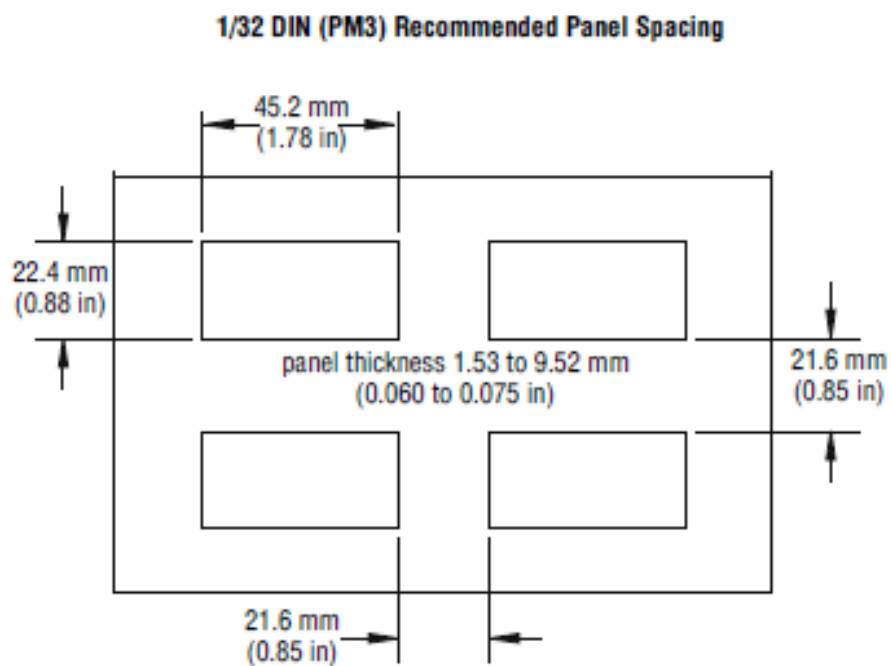
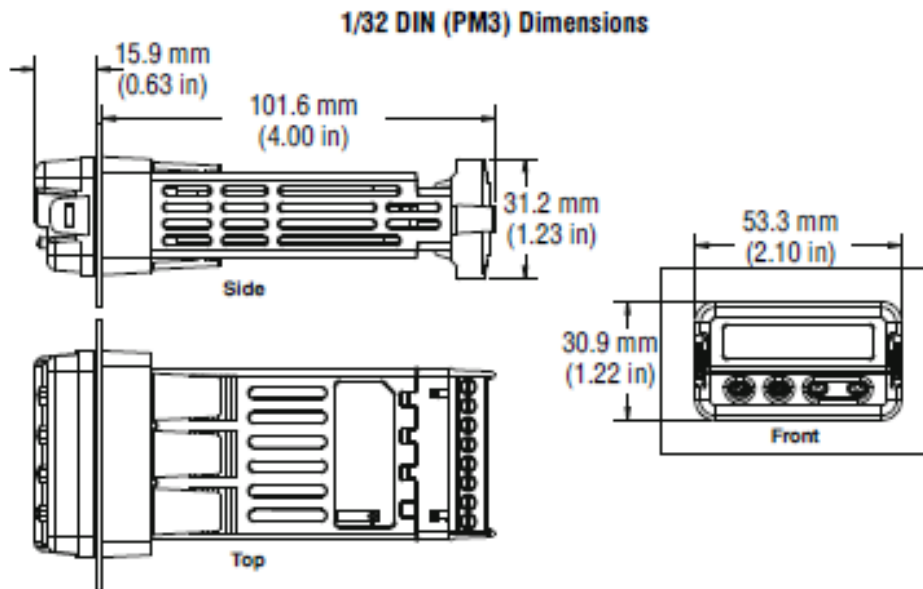
Serial Communications

- Isolated communications
- Standard Bus Configuration Protocol

Wiring Termination—Touch-Safe Terminals

- Input, power and controller output terminals are touch safe removable 12 to 22 AWG
- Use 75°C , Cu conductor only

6. **DIAGRAMA DE INSTALACIÓN Y CABLEADO.**



7. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SSR SELECCIONADO.



SPECIFICATIONS (DC INPUT CONTROL)

◆ MAX. LOAD CURRENT: 10A(rms) 120V;240V

DESCRIPTION	TYPES	ESR500				ESR510			
		1201000	2401000	1201001	2401001	1201000	2401000	1201001	2401001
■ INPUT CIRCUIT									
LED Indicate		YES				NO			
Control Voltage Range		4-32 VDC				3-32 VDC			
Control Current		15mA Max.				16mA Max.			
Min. Turn-off Voltage		1.5 VDC				1 VDC			
Input Impedance		2.0KΩ Min.				2.0KΩ Min.			
■ OUTPUT CIRCUIT									
Max. Load Current		10A (rms)				10A (rms)			
Nominal load Voltage (VAC)		120	240	120	240	120	240	120	240
Load Voltage Range (VAC)		24-140	24-280	24-140	24-280	24-140	24-280	24-140	24-280
Non-Repetitive Max. Peak Voltage (VAC)		400	600	400	600	400	600	400	600
Non-Repetitive Max. Peak Current		125A				125A			
Max. Off-state Leakage Current		10mA				10mA			
Max. On-state Voltage Drop		1.6V				1.6V			
Min. Load Current		50mA				50mA			
Max. Off-state Slew Rated (dv/dt)		250V/μs				250V/μs			
Operating Frequency Range		47Hz ~ 63Hz				47Hz ~ 63Hz			
■ GENERAL CHARACTERISTICS									
Zero-on or Random-on		Z		R		Z		R	
Max. Turn -on Time (60Hz)		8.3ms		100μs		8.3ms		100μs	
Max. Turn-off Time (60Hz)		8.3ms							
Insulation Resistance		DC 500V 10 ⁹ Ω Min. (Between Input & Output, Input / Output & Case)							
Dielectric Strength		3.5K VAC (Between Input & Output)							
Capacitance		15pF Max. (Between Input & Output)							
Operating Temperature		-20℃ ~ +80℃							
Storage Temperature		-40℃ ~ +100℃							
Heat Sink		3.5℃ /W (Max. Load Current)							

8. TABLA DE PROPIEDADES DEL AIRE.

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Aire							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536

9. TIPOS DE LÁMINAS ACRÍLICAS ACRILUX.

M F	<p>LAMINA ACRILICA PARA MANUFACTURAS FINAS</p> <p>Para la fabricación de:</p> <ul style="list-style-type: none">- Exhibidores, lunas automotrices.- Dispensadores.- Artículos decorativos, etc.
U G	<p>LAMINA ACRILICA PARA USO GENERAL</p> <ul style="list-style-type: none">- Para cortar, perforar y pulir.- Para pegar con solventes o cementos.- Para moldear (y volver a moldear repetidas veces, según la necesidad).
X R	<p>LAMINA ACRILICA EXTRA RESISTENTE</p> <p>De superior resistencia:</p> <ul style="list-style-type: none">- A la luz.- A la intemperie.- Al envejecimiento.

10. GUÍA DE DEFECTOS, CAUSAS Y POSIBLES SOLUCIONES.

DEFECTO	CAUSA POSIBLE	SOLUCIÓN SUGERIDA
<ul style="list-style-type: none"> Burbuja o ampolla en la hoja 	<ul style="list-style-type: none"> Humedad excesiva Calentamiento muy rápido Calentamiento no uniforme 	<ul style="list-style-type: none"> Presecar la hoja. Calentar los dos lados de la hoja a 60° C (140° F). Reducir la temperatura del horno. Incrementar la distancia entre la hoja y el calefactor. Verificar y arreglar el horno. Verificar elementos calefactores.
<ul style="list-style-type: none"> Detalles y formas incompletas 	<ul style="list-style-type: none"> Vacío insuficiente Desplazamiento del vacío lento Calentamiento insuficiente de la hoja 	<ul style="list-style-type: none"> Eliminar obstrucciones en el sistema de vacío. Incrementar número de perforaciones. Aumentar diámetro de perforaciones. Mayor capacidad de tanques y bomba de vacío. Fuga de línea. Verificar el sistema de vacío por posibles fugas. Utilizar canales de vacío en áreas posibles. Aumentar temperatura o tiempo de calentamiento.
<ul style="list-style-type: none"> Cambio de color en la hoja 	<ul style="list-style-type: none"> Calentamiento excesivo Baja temperatura del molde 	<ul style="list-style-type: none"> Reducir tiempo de calentamiento. Disminuir temperatura del horno. Calentar molde.

DEFECTO	CAUSA POSIBLE	SOLUCIÓN SUGERIDA
<ul style="list-style-type: none"> • Cambio de color en la hoja 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja temperatura de la ayuda mecánica. • La hoja se adelgaza demasiado. • Enfriamiento de la hoja antes de completar su forma. • Inadecuado diseño de molde. • Material no adecuado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Calentar ayuda mecánica. • Incrementar el espesor de la hoja. • Colocar más rápido la hoja en el molde. • Aumentar velocidad de vacio. • Calentar el molde y ayuda mecánica. • Disminuir profundidad del molde. • Mejorar el flujo de aire de vacio. • Usar radios de curvatura mayores. • Cambio material.
<ul style="list-style-type: none"> • Alabeo o pando excesivo de la hoja 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoja muy caliente. • Hoja demasiado grande en área 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir tiempo de calentamiento. • Disminuir temperatura del horno. • Si es posible, reducir el tamaño de la hoja. • Utilizar pantallas, principalmente en el centro de la hoja (sólo para hornos con calentamiento infrarrojo).
<ul style="list-style-type: none"> • Marcas por enfriamiento en la pieza formada 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoja demasiado caliente • Ayuda mecánica con insuficiente temperatura • Baja temperatura del molde (El encogimiento cesa cuando hace contacto con el molde o ayuda fría). 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir la temperatura del molde. • Disminuir tiempo de calentamiento. • Elevar la temperatura de la ayuda . • Usar fieltro o franela suave en la superficie de la ayuda. • Elevar temperatura del molde y/o ayuda, sin exceder los rangos de temperatura. • Suavizar y/o redondear el molde en áreas críticas.

DEFECTO	CAUSA POSIBLE	SOLUCIÓN SUGERIDA
<ul style="list-style-type: none"> • Pequeñas arrugas o marcas circulares. 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoja muy caliente. • Barrenos de vacío muy grandes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir la temperatura del molde. • Disminuir tiempo de calentamiento. • Rellenar y barrenar nuevamente a un diámetro más pequeño.
<ul style="list-style-type: none"> • Variación en el pandeo de la hoja. 	<ul style="list-style-type: none"> • No hay uniformidad de temperatura en la hoja. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar que el horno no tenga corrientes de aire, es necesario incorporar deflectores.
<ul style="list-style-type: none"> • Arrugas durante el formado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Excesivo calentamiento de la hoja. • Excesivo pandeo de la hoja. • Vacío insuficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir temperatura del horno. • Disminuir tiempo de calentamiento. • En la medida de lo posible, aumentar la distancia entre los calefactores y hoja (sólo para hornos de calentamiento por radiación infrarroja). • Disminuir el rango de temperatura de moldeo. • Verificar sistema de vacío. • Incrementar orificios de vacío o canales.
<ul style="list-style-type: none"> • Líneas o zonas muy brillantes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoja sobrecalentada en el área de brillo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar pantallas para disminuir el calor en la zona. • En la medida de lo posible, incrementar la distancia entre calefactores y la hoja (Sólo en hornos de calentamiento por radiación infrarroja). • Disminuir el tiempo de calentamiento.
<ul style="list-style-type: none"> • Mala apariencia de la superficie de la pieza. 	<ul style="list-style-type: none"> • Defecto causado por aire atrapado sobre la superficie lisa del molde. • Vacío insuficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sandblastear la superficie del molde. • Incrementar el número de orificios de vacío. • Si las marcas aparecen aisladas, incrementar el número de orificios de vacío en la zona afectada .

DEFECTO	CAUSA POSIBLE	SOLUCIÓN SUGERIDA
<ul style="list-style-type: none"> • Mala apariencia de la superficie de la pieza. 	<ul style="list-style-type: none"> • Excesiva temperatura del molde. • Insuficiente temperatura del molde. • Superficie del molde demasiado áspera o rugosa. • Hoja sucia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir la temperatura del molde. • Incrementar temperatura del molde. • Suavizar la superficie del molde. • Hacer otro molde con otro material. • Limpiar la hoja.
<ul style="list-style-type: none"> • Distorsión excesiva o encogimiento después de desmoldar la pieza. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pieza desmoldada demasiado rápido. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prolongar el ciclo de enfriamiento. • Pasar la pieza a una plantilla de enfriamiento. • Utilizar algún refrigerante. • Utilizar vapor de agua en spray para disminuir la temperatura de la pieza. • Utilizar ventiladores eléctricos para enfriar la pieza dentro del molde.
<ul style="list-style-type: none"> • Excesivo adelgazamiento del espesor de la pared de la pieza. 	<ul style="list-style-type: none"> • Técnica inadecuada de formado. • Variación en el espesor del material. • Calentamiento desigual de la hoja. • La hoja está a una temperatura excesiva. • Molde frío. • La hoja no está firmemente sujeta en el marco. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar otra técnica de formado: vacío con retorno, presión de aire y ayuda mecánica, presión de aire y retorno con vacío. • Verificar que el material se encuentre dentro de las normas de calidad y/o solicitar reclamación del material. • Verificar la operación del horno. • Disminuir la temperatura del horno. • Disminuir tiempo de calentamiento. • Calentar el molde. • Incrementar presión de cierre. Verificar posible variación en el espesor de la hoja.

DEFECTO	CAUSA POSIBLE	SOLUCIÓN SUGERIDA
<ul style="list-style-type: none"> • Torcedura de las piezas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pieza no enfriada convenientemente. • Distribución desigual del espesor de la pared. • Diseño de molde inadecuado. • Diseño inadecuado de la pieza. • Temperatura insuficiente del molde. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ajustar el ciclo de enfriamiento. • Usar ayuda mecánica o técnica de pre-estiramiento. • Posible calentamiento desigual de la hoja. • Incrementar orificios de vacío. • Modificar molde. • En la medida de lo posible, modificar las áreas planas con una pequeña curvatura. • Incrementar temperatura del molde.
<ul style="list-style-type: none"> • Marcas de encogimiento en las esquinas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie del molde demasiado lisa. • Vacío insuficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sandblastear la superficie del molde. • Verificar sistema de vacío. • Agregar más orificios de vacío.
<ul style="list-style-type: none"> • Pre-estiramiento de la burbuja no uniforme. 	<ul style="list-style-type: none"> • Insuficiente temperatura de la hoja. • Espesor desigual de la hoja. • Presión de aire insuficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar condición de operación del horno. • Utilizar pantallas de enfriamiento (Solo en hornos de calentamiento por radiación infrarroja). • Mayor tiempo de calentamiento a una menor temperatura . • Incorporar un sistema de distribución de aire con deflectores.
<ul style="list-style-type: none"> • Esquinas de espesor delgado en formados de profundidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Técnica de formado inadecuada. • Hoja de espesor delgado. • Calentamiento no uniforme de la hoja • Calentamiento inadecuado del molde. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambiar a otra técnica de formado. • Incrementar espesor de hoja. • Verificar la operación del horno. • Utilizar pantallas para cambiar la distribución de calor. • Cambiar la temperatura del molde.

Fuente: Manual de Termoformado de PLASTIGLAS S.A.