

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS EN
SUPERFICIES EXTENDIDAS PARA FINES
DIDÁCTICOS**

PRESENTADO POR:

**SANDOR MAURICIO LAZO ESPINOZA
MARVIN RENÉ SALGUERO RAMÍREZ**

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO DE 2017

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR INTERINO :

LIC. JOSÉ LUIS ARGUETA ANTILLÓN

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR :

ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO MECÁNICO

Título :

**CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS EN
SUPERFICIES EXTENDIDAS PARA FINES
DIDÁCTICOS**

Presentado por :

SANDOR MAURICIO LAZO ESPINOZA

MARVIN RENÉ SALGUERO RAMÍREZ

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

MSC. ING. GUSTAVO SALOMÓN TORRES RÍOS LAZO

San Salvador, febrero de 2017

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

MSC. ING. GUSTAVO SALOMÓN TORRES RÍOS LAZ

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso, por la bendición de permitirme finalizar una de mis más grandes metas, por iluminarme y guiarme en tomar las mejores decisiones, por levantarme y darme fuerzas para seguir cada vez que caí.

A mi padre Rene Mauricio Lazo, por todo el apoyo y sacrificio para poder sacarme siempre adelante, por confiar en mí en todo momento, por ser para mí un modelo de inspiración a seguir durante mi vida, por cada una de su enseñanza que me ha dado. Gracias papá por todo el amor.

A mi madre Maura de Jesús Espinoza, por permitirme venir a este mundo y haberme cuidado los primeros días de vida.

A mi abuela y abuelo, Francisca Lazo, Joaquín Zepeda, por cuidarme durante mi vida y apoyarme en todo momento, por su cariño y comprensión.

A mi madrastra Lic. Silvia Ruth Herrera por todo el apoyo incondicional y sacrificio para poder culminar mi carrera, por todo el cariño y afecto que me demostró durante el tiempo que estuvo a mi lado, por la confianza que puso en mí.

A mi amiga Martha Elizabeth Hernández, por todo el cariño y atención que me brindo durante todo este tiempo, por todo el amor y confianza que me ha proporcionado, por ser parte de mi familia.

A mi compañero de trabajo de graduación por confiar y unir nuestros esfuerzos y sacrificios, para lograr uno de nuestros objetivos en la vida.

A William Torres Salinas, por su apoyo y consejos durante mi trabajo de graduación, por la confianza que me brindo y su gran amistad.

Sandor Mauricio Lazo Espinoza

DEDICATORIA

La Divinidad de nuestro Padre Celestial y el de su madre la Santísima Virgen María hacen posible que todo en este mundo terrenal sea posible de llevar a cabo, es por ello que dedicarles unas pocas y sencillas palabras no sean lo suficiente para poder expresar el agradecimiento que en este momento de mi vida siento hacia ellos. Ya que las bendiciones que he recibido de ellos han sido abundante y provechosas para lograr las metas y objetivos de mi vida.

De la misma forma, agradecer eterna y profundamente a mis padres: Adolfo Salguero Gutiérrez y Blanca Rosa Ramírez Quijada quienes me han dado su apoyo incondicional para poder finalizar mis estudios universitarios, así mismo expresarle mis más sinceros agradecimientos a mis hermanos, tías y primas hermanas quienes residen junto a nosotros.

Y un agradecimiento especial a la familia López Salguero por el enorme aporte y confianza que me dieron al permitirme alojarme en su vivienda ubicada en la ciudad de Apopa.

A mis compañeros con los que he convivido durante el tiempo de mis estudios, así mismo a mi compañero de trabajo de trabajo de graduación y a su padre por el apoyo y ayuda para que esto fuera posible. Y a todas aquellas personas que de una u otra forma me brindaron su apoyo para lograr este pequeño pero importante logro en mi vida.

Marvin René Salguero Ramírez

AGRADECIMIENTOS

A nuestra Alma Mater por darnos la oportunidad de formarnos como profesionales dentro de ella.

Nuestro más sincero agradecimiento al Ing. Gustavo Salomón Torres Ríos Lazo por asesorar este trabajo de graduación, por su apoyo y confianza, no solamente en el desarrollo de este trabajo, sino también por la formación como investigadores.

A la escuela de Ingeniería Mecánica por proporcionar los docentes y equipos para el desarrollo de las asignaturas. También, a la Unidad Productiva Metal Mecánica de esta Escuela, especialmente al Ingeniero Mauricio Antonio Polanco, por permitirnos desarrollar el trabajo de maquinado, rectificado, soldadura de las probetas utilizadas en este trabajo.

Al estudiante de la carrera de Ingeniería de Sistemas Informáticos, Kevin Christopher García Martínez por la ayuda en el desarrollo de la base de datos y el software utilizado en el trabajo de graduación.

Al estudiante de la carrera de Ingeniería Mecánica Francisco Javier Ponce Reyes, por proveernos las piezas de aluminio.

A los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica Armando Rene Beltrán, Vladimir Alberto Espinoza Martínez y Welf Wipfli Ramírez, por ayudarnos y aconsejarlos.

Contenido

Nomenclatura.....	7
Índice de Figuras	10
Índice de Ecuaciones.....	13
Índice de Gráficos	16
Índice de Tablas.....	18
Introducción	19
Objetivos.....	20
Objetivo General.....	20
Objetivos Específicos	20
MARCO TEÓRICO	21
1.0 Materiales y Equipos Didácticos	21
1.1 Didáctica Universitaria	21
1.2 Los Medios Educativos.....	21
1.2.1 ¿Que es un medio educativo?.....	22
1.2.2 Clasificación de los Medios Educativos.....	22
1.2.2.1. Basada en el canal de percepción.....	22
1.2.2.2 Basada en las experiencias de aprendizaje (experiencia de Dale)	23
1.2.3 Desventajas.....	24
1.3 Materiales Didácticos.....	25
1.3.1 ¿Qué es un Material Didáctico?	25
1.3.2 Importancia de los materiales educativos.....	25
1.3.3 Estructura de los materiales educativos	26
1.3.4 Tipos de material educativo.....	26

2.0 Fundamentos de Transferencia de Calor.....	27
2.1 Antecedentes.....	27
2.2 Definición.....	27
2.3 Mecanismos de Transferencia de Calor	28
2.3.1 Conducción	28
2.3.2 Convección.....	30
2.3.3 Radiación	31
2.4 Superficies Extendidas o Aletas	32
2.5 Tipos de Superficies extendidas.....	33
2.6 Uso en la Industria de Superficies Extendidas	34
3.0 Ecuaciones de los parámetros de caracterización en aletas	37
3.1 Eficiencia	37
3.2 Efectividad	38
3.3 Admitancia de entrada.....	42
3.4 Factor de aumento y coeficiente de mejora.....	42
3.5 Ecuaciones que gobiernan la transferencia de calor en las superficies extendidas	44
3.5.1 Ecuación general de la energía en una superficie extendida	44
3.5.2 Solución general para cada tipo de aleta	47
3.5.3 Aletas con área e sección transversal no uniforme	56
3.5.4 Parámetros de medición en superficies extendidas	60
4.0 Tarjetas Arduino.....	61
4.1 Definición.....	61
4.2 Tipos de Placas Arduino	62
4.3 Aplicaciones	62

4.4 Entradas y Salidas.....	63
4.5 Lenguaje de Programación de Arduino	63
4.6 Interface de Tarjetas Arduino con otro software	64
5.0 Función de Bessel	65
5.1 Aplicaciones de Ecuación de Bessel	65
5.2 Funciones de Bessel Modificadas	66
5.3 Funciones de Bessel modificadas de primera especie: $I \propto$	67
5.4 Funciones de Bessel modificadas de segunda especie: $K \propto$	68
6. Diseño del banco de pruebas	69
6.1 Tipos de superficies extendidas y materiales a usar en el banco de pruebas.....	69
6.2 Elementos constructivos	69
6.2. 1 Calefactor para Aletas Individuales	70
6.2.2 Calefactor para Conjunto de Aletas.....	73
6.3 Requerimientos de potencia para la sección A del banco de pruebas	75
6.3.1 Coeficiente de convección natural de la placa base.....	76
6.3.2 Requerimiento de potencia para el uso de la aleta de sección circular	78
6.3.3 Requerimiento de potencia para el uso de la aleta de sección rectangular	79
6.3.4 Requerimiento de potencia para uso de la aleta cónica.....	81
6.3.5 Requerimiento de potencia en la cámara de resistencias	82
6.3.6 Comportamiento transitorio en el banco de pruebas.....	85
6.3.7 Aislamiento en los recintos calefactores.....	90

6.4	Requerimientos de potencia para el Calefactor de conjunto de aletas para banco de pruebas	91
6.4.1	Comportamiento transitorio en el banco de pruebas	92
6.4.2	Aislamiento.....	93
6.5.1	Control de Temperatura	94
6.5.2	Medición de Temperatura.....	94
7.	Construcción y Fabricación de Elementos del Equipo	96
7.1	Construcción mesa del banco de pruebas.....	96
7.2	Construcción de gavetas.	99
7.3	Construcción de calefactor para aletas en conjunto e individuales	102
7.4	Construcción de tapadera para hornos.....	104
7.5	Elaboración de los distintos tipos de aletas	107
7.6	Programación de tarjeta arduino.....	110
7.6.1	Programación.....	110
7.6.2	Leer los sensores	112
7.6.3	Conexión de circuito eléctrico	112
7.7	Elaboración de circuitos impresos de cobre	115
7.8	Construcción de rieles para sensores.....	117
8	Pruebas de validación del equipo.....	120
8.1	Toma de datos con los seis sensores para el calefactor con aletas individuales y el de aletas en conjunto.	121
8.2	Lectura de datos para los primeros sensores 0, 1 y 2 para ambos calefactores.	129
8.3	Lectura de para los últimos tres sensores 3, 4 y 5 para ambos calefactores.	130

8.4 Lectura de los sensores 0, 3, 4 y 5.....	132
8.5 Calculo de eficiencia para los perfiles de la sección 8.1	133
8.5.1 Eficiencia aleta individual cónica	133
8.5.2 Eficiencia aleta de conjunto cilíndrica material aluminio.....	134
8.6 Superposición de perfil estado transitorio teórico y real	135
9 Presupuesto	135
9.1 Depreciación del Equipo.....	140
10 Laboratorios y Manual de Instalación.....	140
10.1 Guías de laboratorio	140
10.1.1 Guía de Laboratorio 1.....	141
10.1.2 Guía de Laboratorio 2.....	156
10.1.3 Guía de Laboratorio 3.....	160
10.1.4 Guía de Laboratorio 4	164
10.1.5 Guía de Laboratorio 5.....	168
10.1.6 Guía de Laboratorio 6.....	172
10.1.7 Guía de Laboratorio 7.....	176
10.1.8 Guía de Laboratorio 8.....	180
10.2 Manual de Instalación y Manejo de la aplicación.....	184
Instalación de Node JS.	185
Instalación de MongoDB	187
Configuración de MongoDB	189
Instalación de Arduino.	192
Instalación y ejecución de la aplicación.	195
Recomendaciones	197
Conclusiones	199

Glosario	201
Anexos.....	203
Apéndice A	203
A-1.Figura Factor de forma entre superficies rectangulares con lado común (Fuente Cengel Y.A., Transferencia de Calor, Segunda Edición. McGraw- Hill, 2006).....	203
A-2. Figura de Factor de forma entre superficies alineadas (Fuente Cengel Y.A., Transferencia de Calor, Segunda Edición. McGraw- Hill, 2006).....	204
Apéndice B	205
B-1Tabla Propiedades termo físicas del aire a presión atmosférica(Keenan, Chao, Keyes, gas tables, Wiley, 1985).....	205
Apéndice C	206
Código 1	206
Código 2	207
Código 3	208
Código 4	214
Código 5	216
Bibliografía.....	222

Nomenclatura

dQ : Diferencial de calor transferido (KW/h).

k : Coeficiente de conductividad térmica de los materiales.

A : Área de transferencia de calor.

dt : Diferencial de temperatura.

dx : Diferencial de distancia en la dirección de la transferencia de calor.

h : Coeficiente de convección.

dA : Diferencial de área para la transferencia de calor.

ε : Emisividad de los materiales.

σ : Constante de Stefan Boltzman.

Q_{conv} : Calor transmitido por convección de las aletas.

$A_s = A_f$: Área superficial de las aletas.

T_s : Temperatura superficial de las aletas.

T_∞ : Temperatura ambiente.

$\dot{Q}_f = \dot{Q}_b$: es el Calor que disipa la aleta.

θ_b : es el exceso o sobre temperatura de la base de la aleta respecto al entorno de ésta.

η : Eficiencia de una aleta.

ξ : Efectividad de una aleta.

A_b : Es el área transversal de la aleta en la base.

\dot{Q}_{fp} : Calor disipado por una superficie con aletas.

\dot{Q}_0 : Calor disipado por una superficie sin aletas.

Q_{fb} : Calor disipado por el conjunto aleta-pared.

\dot{Q}_p : Calor disipado por la pared, donde no hay aletas.

\dot{Q}_f : Calor disipado por la aleta.

A_p : Área de la pared sin aletas, por donde se disipa \dot{Q}_p .

Y_i : Coeficiente de admitancia de entrada.

A_{ug} : Factor de aumento para una aleta.

R_{Tpd} : Resistencia total de la pared desnuda.

R_{2fp} : Resistencia total del conjunto aleta-pared.

R_1 y R_2 : son las resistencias convectivas de la pared desnuda bañada por los fluidos 1 y 2.

R_p : Es la resistencia de la pared.

\dot{Q}_x : Transferencia de calor a través de la aleta en la dirección longitudinal x .

\dot{Q}_{x+dx} : Transferencia de calor a través de la aleta en la dirección longitudinal x más la transferencia de calor en un diferencial dx .

A_c : Área de la sección transversal que varía con la distancia x .

$dA_s(x)$: Es el área superficial del elemento diferencial, que varía con x .

$\theta(x)$: Es el perfil de temperatura de la aleta a lo largo de x .

$dA(x)$: Es el área superficial del elemento diferencial en la dirección x .

P : Perímetro de la sección transversal de la aleta.

x : Representa una fracción de la longitud total de la superficie extendida.

m : Es una constante que es la raíz cuadrada de la relación del producto del coeficiente convectivo y el perímetro de la aleta entre el producto del coeficiente de conductividad térmica y el área de la sección transversal de la aleta.

C_1 y C_2 : Coeficientes constantes de una ecuación diferencial lineal de segundo orden, homogénea.

L : Representa la longitud total de una superficie extendida.

$\cosh()$: Representa el coseno hiperbólico.

$\sinh()$: Representa el seno hiperbólico.

$\tanh()$: Representa la tangente hiperbólica.

r : Representa el radio de una aleta circular.

dr : Representa el diferencial de radio de una aleta circular.

t : Espesor de una aleta circular.

n : Es una constante que se utiliza en la solución general de la ecuación para una aleta circular y es la raíz cuadrada de la relación del doble del coeficiente convectivo entre el producto del coeficiente de conductividad térmica y el espesor de la aleta.

I_0 y K_0 : Son funciones de Bessel de orden cero modificadas de 1 y 2 clase, respectivamente.

$\theta(r)$: Es el perfil de temperatura de la aleta en dirección del radio r .

r_1 : Radio interno de la aleta circular.

r_2 : Radio externo de la aleta circular

Índice de Figuras

Figura 1 Flujo de calor a través de una pared. (Fuente propia)	29
Figura 2 Tipos de Aletas (Información propia). a) y b) Longitudinales, c) Radiales, d) Espina.....	34
Figura 3. Aletas utilizadas en motores eléctricos	34
Figura 4. Aletas utilizadas en los serpentines de un refrigerador.	35
Figura 5. Aletas en circuitos electrónicos.....	35
Figura 6. Aletas en un intercambiador de calor.....	36
Figura 7. Aletas en un radiador.....	36
Figura 8. Distribución de la temperatura en una aleta a) ideal b) real (Cengel 2012).....	37
Figura 9. Esquema de efectividad. Superficie con aleta y superficie sin aleta (cengel, 2012)	39
Figura 10- conjunto aleta-pared (Cengel, 2012)	41
Figura 11. Esquema para la ecuación general de la transferencia de calor en aletas.	45
Figura 12. Aletas con área de sección transversal constante (Incropera, 1999).	47
Figura 13. Calor disipado en la aleta (Cengel, 2012).	49
Figura 14. Perfil de temperatura de la longitud de una aleta con convección en la punta (Incropera, 1999).....	51
Figura 15. Perfil de temperatura de una aleta cilíndrica con sección transversal constante (Cengel, 2012).	54
Figura 16. Longitud equivalente para una aleta con convección en el extremo (Cengel, 2012).	55
Figura 17. Aleta circular (fuente electrónica).	56
Figura 18. Eficiencia para las formas de aletas comunes (Cengel, 2012).	59
Figura 19. . Placa Arduino RS232.....	61
Figura 20. Elementos constructivos del banco de pruebas (fuente propia).	69
Figura 21. Sección de calefactor de aletas individuales del banco de pruebas y las aletas intercambiables (fuente propia).....	70

Figura 22. Geometría de aleta cilíndrica (fuente propia).....	71
Figura 23. Geometría de aleta cónica (fuente propia).....	72
Figura 24. Geometría de aleta rectangular (fuente propia).	72
Figura 25. Sección del calefactor para conjunto de aletas del banco de pruebas y conjunto de aletas intercambiables (fuente propia).....	73
Figura 26. Geometría de conjunto de aletas rectangulares (fuente propia).	74
Figura 27. Geometría de conjunto de aletas cilíndricas (fuente propia).....	74
Figura 28. Geometría de conjunto de aletas cónicas (fuente propia).....	75
Figura 29. Perfil e aleta y condiciones de temperatura (fuente propia).....	75
Figura 30. Espesores de pared 1 y 2 en cm. Corte transversal y en planta (Fuente propia)	91
Figura 31. Forma final del calefactor para aletas individuales (Fuente propia)	91
Figura 32. Forma final y cortes de calefactor para conjunto de aletas (Fuente propia).....	93
Figura 33. Sensor infrarrojo MLX90614 (Fuente propia).....	94
Figura 34. Elaboración de mesa de banco de pruebas (Fuente propia).	98
Figura 35. Mesa de Banco después de pulirla (Fuente propia).	98
Figura 36. Pintado de la estructura de mesa de banco (Fuente propia).	99
Figura 37. Corte de las piezas de plywood que formaran las gavetas (Fuente propia).	100
Figura 38. Pintado de gavetas (Fuente propia).....	102
Figura 39. A la izquierda se muestra el calefactor de aletas de conjunto y a la derecha el calefactor para aletas individuales (Fuente propia).	103
Figura 40. Construcción de tapaderas para hornos (Fuente propia).....	105
Figura 41. Colocación de fibra de vidrio en el interior de las tapaderas (Fuente propia).	106
Figura 42. Pintado de las tapaderas para los hornos (Fuente propia).	106
Figura 43. Colocación de trozos de aluminio y acero en el torno (Fuente propia)	108
Figura 44. Lijado de piezas cilíndricas y cónicas en el torno (Fuente propia).	109

Figura 45. A la izquierda se muestra una aleta individual y al derecha un conjunto de aletas durante el proceso de soldadura (Fuente propia).	109
Figura 46. Placa Arduino Uno R3 (Fuente propia).	110
Figura 47. Conexión de placa arduino y sensor MLX90614 para realizar el cambio de dirección requerido (Fuente propia).....	111
Figura 48. Esquema de conexión de la figura 47 (Fuente propia).	111
Figura 49. Cautín utilizado en la elaboración de circuitos (Fuente propia)	113
Figura 50. Dibujo de la conexión para la toma de temperaturas de las aletas en conjunto (Fuente propia).	113
Figura 51. Esquema de conexión de la placa arduino y los sensores MLX90614 en la toma de temperaturas de superficies extendidas (Fuente propia).....	114
Figura 52. Unión de los sensores MLX90614 a las placas de circuito impreso (Fuente propia).	114
Figura 53. Materiales y herramientas usados en la elaboración de circuitos impresos.	115
Figura 54. Planchado de papel cuche impreso sobre las placas de cobre (Fuente propia).	116
Figura 55. Remojo de las placas de cobre en acido (Fuente propia).....	117
Figura 56. Doblado de las láminas para los rieles(Fuente propia).	118
Figura 57. Corte del saque para la colocación de los sensores (Fuente propia).	118
Figura 58. Unión de las placas de los sensores con el riel para aletas de conjunto (Fuente propia).	119
Figura 59. El mismo proceso se realiza para las placas y riel de las aletas individuales.	119

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Diferencial de conducción de calor.....	29
Ecuación 2. Diferencial de convección de calor.....	31
Ecuación 3. Diferencial de radiación de calor.	31
Ecuación 4. Ley de enfriamiento de newton.	32
Ecuación 5. Eficiencia de una aleta.	38
Ecuación 6. Efectividad relacionando la eficiencia.....	39
Ecuación 7. Efectividad global de superficie proyectada.	41
Ecuación 8. Conjunto aleta-pared.....	41
Ecuación 9. Admitancia de entrada.	42
Ecuación 10. Factor de aumento.	43
Ecuación 11. Conservación de energía para elemento diferencial.	45
Ecuación 12. Segundo grado homogéneo en función de longitud de la aleta. .	46
Ecuación 13. Segundo grado homogéneo en función de la longitud para condiciones unidimensionales.	46
Ecuación 14. Conservación de energía para aletas con área de sección transversal constante.....	48
Ecuación 15. Perfil de temperatura para una aleta con sección transversal constante.	49
Ecuación 16. Transferencia de calor para sección transversal constante.	50
Ecuación 17. Eficiencia de una aleta de sección transversal en función de la temperatura del extremo.....	50
Ecuación 18. Perfil de temperatura sección transversal constante donde existe transferencia por convección.....	51
Ecuación 19. Transferencia de calor de una aleta con sección transversal constante con convección.....	52
Ecuación 20. Eficiencia de una aleta de sección transversal constante con convección.....	52
Ecuación 21. Perfil de temperatura de una sección transversal constante sin pérdida por convección.....	53

Ecuación 22. Transferencia de calor en una aleta de sección transversal constante sin pérdida por convección.....	53
Ecuación 23. Eficiencia de una aleta de sección transversal constante sin pérdida por convección.	53
Ecuación 24. Perfil de temperatura de una aleta de sección transversal constante con longitud muy larga.	54
Ecuación 25. Transferencia de calor de una aleta de sección transversal constante con longitud muy larga.	55
Ecuación 26. Eficiencia de una aleta de sección transversal constante con longitud muy larga.....	55
Ecuación 27. Conservación de energía en función del radio para aletas con sección transversal no uniforme.	56
Ecuación 28. Solución general de Bessel.....	57
Ecuación 29. Perfil de temperatura de una aleta con sección Transversal no uniforme con extremo adiabático.....	57
Ecuación 30. Transferencia de calor de una aleta de sección transversal no uniforme con extremo adiabático.....	58
Ecuación 31. Eficiencia de aletas con sección transversal no uniforme con extremo adiabático.....	58
Ecuación 32. Medición de transferencia de calor en la base de la aleta.....	60
Ecuación 33. Medición de transferencia de calor por conservación de energía.....	60
Ecuación 34. Diferencial de Bessel.....	65
Ecuación 35. Diferencial de Bessel modificada.	66
Ecuación 36. Bessel modifica de primera especié.....	67
Ecuación 37. Bessel ordinaria.....	67
Ecuación 38. Bessel modificada segunda especié.	68
Ecuación 39. Número de Rayleihg.....	77
Ecuación 40. Número de Nusselt para $RaL \leq 109$ según Frank P. Incropera..	77
Ecuación 41. Relación de Nusselt para geometrías comunes inmersas.	77
Ecuación 42. Transferencia de calor para una aleta cónica	81

Ecuación 43. Balance de energía para cámara de resistencias de aletas individuales.	82
Ecuación 44. Constante de convección del recinto, según balance de energía.....	83
Ecuación 45. Numero de Nusselt para recintos rectangulares según Incroopera.....	83
Ecuación 46. Ecuación de Rayleigh para recintos según incroopera.	84
Ecuación 47. Calor del recinto calefactor.....	84
Ecuación 48. Calor necesario en el recinto a presión y volumen constante.	85

Índice de Gráficos

Gráfica 1. Iteración 1 para la pared por diferencias finitas (Fuente propia)	86
Gráfica 2. Iteración 2 para la pared por diferencias finitas (Fuente propia)	87
Gráfica 3. Iteración 1 para la pared por diferencias finitas (Fuente propia)	87
Gráfica 4. Iteración 1 para la aleta por diferencias finitas (Fuente propia)	88
Gráfica 5. Iteración 2 (línea azul) para la aleta por diferencias finitas (Fuente propia).....	88
Gráfica 6. Iteración 3 (línea amarilla) para la aleta por diferencias finitas (Fuente propia)	89
Gráfica 7. Iteración 4 (línea roja) para la aleta por diferencias finitas (Fuente propia).....	89
Gráfica 8. Perfil de temperatura de 4 segundos de la aleta individual cónica de aluminio.....	121
Gráfica 9. Perfil de temperatura de 1 minuto de la aleta individual cónica de aluminio.	122
Gráfica 10. Perfil de temperatura de 5 minutos de la aleta individual cónica de aluminio.....	122
Gráfica 11. Perfil de temperatura de 10 minutos de la aleta individual cónica de aluminio.....	123
Gráfica 12. Perfil de temperatura de 5 minutos de la aleta individual cónica de aluminio.....	123
Gráfica 13. Perfil de temperatura de 20 minutos de la aleta individual cónica de aluminio.....	124
Gráfica 14. Perfil de temperatura de 30 minutos de la aleta individual cónica de aluminio.....	124
Gráfica 15. Perfil de temperatura de 4 segundos para aletas cilíndricas en conjunto de aluminio.	125
Gráfica 16. Perfil de temperatura de 1 minuto para aletas cilíndricas en conjunto de aluminio.	126
Gráfica 17. Perfil de temperatura de 5 minutos para aletas cilíndricas en conjunto de aluminio.	126

Gráfica 18. Perfil de temperatura de 10 minutos para aletas cilíndricas en conjunto de aluminio.	127
Gráfica 19. Perfil de temperatura de 15 minutos para aletas cilíndricas en conjunto de aluminio.	127
Gráfica 20. Perfil de temperatura de 20 minutos para aletas cilíndricas en conjunto de aluminio.	128
Gráfica 21. Perfil de temperatura de 30 minutos para aletas cilíndricas en conjunto de aluminio.	128
Gráfica 22. Perfil de temperatura de los sensores 0, 1 y 2 para aleta cilíndrica individual de acero.	129
Gráfica 23. Perfil de temperatura de los sensores 0, 1 y 2 para aletas cuadradas de aluminio en conjunto.	130
Gráfica 24. Perfil de temperatura de los sensores 3, 4 y 5 para aleta cilíndrica individual de acero.	131
Gráfica 25. Perfil de temperatura de los sensores 3, 4 y 5 para aletas cuadradas de aluminio en conjunto.	131
Gráfica 26. Perfil de temperatura de los sensores 0, 3, 4 y 5 para aleta cilíndrica individual de acero.	132
Gráfica 27. Perfil de temperatura de los sensores 0, 3, 4 y 5 para aletas cuadradas de aluminio en conjunto.	133
Gráfica 28, Comparación de un perfil teórico con uno real para superficies extendidas cilíndricas.	135

Índice de Tablas

Tabla 1. Distancia de cada uno de los 6 sensores para toma de temperatura a partir de la base.	120
Tabla 2. Datos para perfil de temperatura del gráfico 8.	121
Tabla 3. Datos para perfil de temperatura del gráfico 9.	122
Tabla 4. Datos para perfil de temperatura del gráfico 10.	122
Tabla 5. Datos para perfil de temperatura del gráfico 11.	123
Tabla 6. Datos para perfil de temperatura del gráfico 12.	123
Tabla 7. Datos para perfil de temperatura del gráfico 13.	124
Tabla 8. Datos para perfil de temperatura del gráfico 14.	124
Tabla 9. Datos para perfil de temperatura del gráfico 15.	125
Tabla 10. Datos para perfil de temperatura del gráfico 16.	126
Tabla 11. Datos para perfil de temperatura del gráfico 17.	126
Tabla 12. Datos para perfil de temperatura del gráfico 18.	127
Tabla 13. Datos para perfil de temperatura del gráfico 19.	127
Tabla 14. Datos para perfil de temperatura del gráfico 20.	128
Tabla 15. Datos para perfil de temperatura del gráfico 21.	128
Tabla 16. Datos para perfil de temperatura del gráfico 22.	129
Tabla 17. Datos para perfil de temperatura del gráfico 23.	130
Tabla 18. Datos para perfil de temperatura del gráfico 24.	131
Tabla 19. Datos para perfil de temperatura del gráfico 25.	132
Tabla 20. Datos para perfil de temperatura del gráfico 26.	132
Tabla 21. Datos para perfil de temperatura del gráfico 27.	133
Tabla 22. Cantidad y costos de los materiales utilizados para la construcción del banco.	136
Tabla 23. Costo de la mano de obra empleada en la construcción del banco de pruebas.	139
Tabla 24. Total de los costos empleados en la construcción del banco de pruebas para superficies extendidas.	140

Introducción

En la actualidad el uso de aletas en el área de transferencia de calor tiene muchas aplicaciones en diferentes sistemas y equipos utilizados en las distintas actividades ejecutadas por los seres humanos. Es por ello, que el estudio y análisis de superficies extendidas actualmente tiene mucha relevancia para los ingenieros que trabajan con este tipo de elementos. Por ende, es importante mencionar el hecho que actualmente en el área de sistemas termomecánicos no cuenta con equipos adecuados para el estudio, análisis, experimentación e investigación de superficies extendidas.

Con el deseo de aportar un equipo de sistemas termodinámicos, se ha tomado a bien dirigir esfuerzos para realizar el diseño y construcción de este equipo que permita realizar pruebas de carácter didáctico como una extensión a los conocimientos teóricos en el área ya mencionada, como trabajo de graduación.

Se pretende que en las prácticas de laboratorio introducir dispositivos electrónicos para que faciliten el aprendizaje de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica.

Objetivos

Objetivo General

- ✓ Construcción de un banco de pruebas en superficies extendidas para el laboratorio de sistemas termomecánicos, con fines didácticos para las asignaturas del área térmica

Objetivos Específicos

- ✓ Seleccionar un software el cual sea capaz de mostrar los perfiles de temperatura de los diferentes tipos de aletas.
- ✓ Construir guías de laboratorio para la experimentación del alumno y mejorar el aprendizaje.
- ✓ Crear un manual de usuario que facilite de manera practica la utilización y optimización del uso del banco de pruebas.
- ✓ Contar con un equipo necesario para la realización e investigación de pruebas para diferentes tipos de superficies extendidas.

MARCO TEÓRICO

1.0 Materiales y Equipos Didácticos

1.1 Didáctica Universitaria

La Didáctica Universitaria es un núcleo disciplinar reconocido dentro de la Didáctica. A diferencia de la didáctica específica de otras etapas educativas (Educación Infantil, Educación Primaria, Educación Secundaria, Educación Terciaria"), es reciente, y sólo lleva décadas de desarrollo. Este retardo se debe, fundamentalmente, a una interrogante que las otras didácticas, centradas en aquellas etapas, no se han llegado a plantear: la necesidad de su existencia. Podríamos conceptualizar a la Didáctica Universitaria como el ámbito de conocimiento y comunicación que se ocupa del arte de enseñar en la universidad.

Evidentemente, quien no sabe bien, no puede enseñar bien. Por ejemplo, una profesora que no domina la Arquitectura o la Física, no podrá interpretar la obra en su entorno, o analizar un fenómeno material. De esto alguien podría deducir que si tantos y tantos docentes que saben sus materias enseñan bien sin que nadie les haya dicho cómo, aprendiendo por ensayo y error, mediante modelos adoptados de su historia personal u observando a otros, será que, de hecho, la formación didáctica es superflua. Pero los hechos no siempre revelan la profundidad de la realidad que parcialmente reflejan.

1.2 Los Medios Educativos

Si un medio constituye el espacio situado entre varias cosas, el medio escolar es la interacción entre los miembros del cuerpo docente y los estudiantes en un marco físico determinado (Regalado, 2006).

1.2.1 ¿Que es un medio educativo?

Pedro Lafourcade¹, define al medio, como cualquier elemento, aparato o representación que se emplea en una situación de enseñanza – aprendizaje para proveer información o facilitar la organización didáctica del mensaje que se desea comunicar en una sesión de enseñanza – aprendizaje. (Regalado, 2006)

1.2.2 Clasificación de los Medios Educativos

La mayoría de autores (Churchil², Arce³, Gallego⁴ y Méndez⁵) consideran como eje central de este proceso la eficacia didáctica.

“El medio debe ser eficiente didácticamente” (Regalado, 2006)

1.2.2.1. Basada en el canal de percepción

De acuerdo a este criterio pueden señalarse tres categorías de medios: visuales, auditivos y audiovisuales.

Medios Visuales

a. Medios impresos

- Material Autoinstructivo.
- Textos
- Cuadernos
- Revistas, periódicos
- Material simbólico: Mapas, planos, gráficos, gráficos Estadísticos.

b. Máquinas de enseñar

c. Computadoras

d. Diapositivas

¹Dr. Pedro Dionisio Lafourcade se graduó de Profesor de Enseñanza Secundaria Normal y Especial en Pedagogía en la entonces Universidad Nacional de Cuyo con sede en la ciudad de San Luis.

² Winston Leonard Spencer Churchill, KG, OM, CH, TD, FRS, PC fue un político y estadista británico, conocido por su liderazgo del Reino Unido durante la Segunda Guerra Mundial

³Estudio derecho en la Universidad de San Francisco Xavier

⁴ Historiador del arte, periodista y político español

⁵ Ing. Guadalupe Méndez a realizado investigaciones para el Centro de Investigación e Innovación para la Enseñanza y el Aprendizaje

- e. Transparencias
- f. Fanelógrafo
- g. Carteles, murales y rotafolio
- h. Pizarrón

Medios Auditivos

- a. Palabra hablada (Exposición - Diálogo)
- b. Radio
- c. Cintas grabadas
- d. Discos
- e. Teléfono (Audio teleconferencia)

Medios Audiovisuales

- a. Palabra hablada (Exposición - Diálogo)
- b. Radio
- c. Cintas grabadas
- d. Discos
- e. Teléfono o Audio teleconferencia. (Regalado, 2006)

1.2.2.2 Basada en las experiencias de aprendizaje (experiencia de Dale)

Nos referimos al “Cono de experiencias” de Edgar Dale⁶, pedagogo norteamericano, quien jerarquiza los medios en función del grado de concreción de dichas experiencias y el orden en que ellas son efectivas, para los estudiantes según su edad. En las doce categorías que presentamos a continuación, Dale asigna los números menores para estudiantes pequeños y los números superiores, para los adultos.

Entre las características tenemos:

- a. Parte de lo concreto a lo abstracto.

⁶ Edgar Dale fue un pedagogo estadounidense, conocido por su famoso Cono de la experiencia (*Cone of Experience*). Hizo diversas contribuciones a la instrucción visual y auditiva, incluyendo una Metodología para analizar el contenido de las películas.

- b. En los cinco primeros escalones existe flexibilidad, por ello de acuerdo al tipo de experiencia los escalones pueden descender al nivel de concreción.
- c. Permite al docente visualizar el uso de material en función de los objetivos -competencias – capacidades.
- d. Los medios se aplican según la experiencia que viven los discentes.
- e. El estudiante puede participar mediante la experiencia próxima o presenciando los resultados de la experiencia. (Regalado, 2006)

Al conocer los diferentes tipos de medios es necesario conocer los criterios de selección más importantes.

1.2.3 Desventajas

A continuación se mencionan las principales desventajas de los medios educativos.

Según Arce⁷, considera las siguientes cuando:

- Los medios no presentan en relación directa con los objetivos – capacidades.
- No está relacionado directamente con el tema.
- No es aplicado en el momento oportuno.
- Es utilizado para distraer.
- Los alumnos no están familiarizados con el uso de los medios.
- Las actividades no aparecen debidamente planificadas.
- El costo de elaboración o adquisición resulta demasiado alto.
- Falta exactitud en las ilustraciones.
- El contenido es parcializado.
- Los materiales están sucios y desordenados.
- La calidad de información permanece por debajo de la capacidad de recepción.

⁷ *Ibíd.*, 15

- Existe en el medio ambiente tanta información que limita la posibilidad de comprender.

1.3 Materiales Didácticos

Los materiales didácticos son de mucha importancia para lograr un mejor aprendizaje por parte de los estudiantes.

1.3.1 ¿Qué es un Material Didáctico?

Según Gimeno⁸ y Loayza⁹, los materiales constituyen elementos concretos, físicos, que portan los mensajes educativos, a través de uno o más canales de comunicación, y se utilizan en distintos momentos o fases del proceso de enseñanza – aprendizaje. Estas fases en el acto de aprender son, según Gagné¹⁰ (1975) las siguientes: Motivación, aprehensión, adquisición, recuerdo, generalización, realización o desempeño y retroalimentación. (Regalado, 2006)

Es por ello que es muy importante conocer los estilos de aprendizaje y la relación de estos con el uso de materiales educativos.

1.3.2 Importancia de los materiales educativos

Entre las principales podemos mencionar:

- Enriquecen la experiencia sensorial, base del aprendizaje. Aproximan al alumno a la realidad de lo que se quiere enseñar, ofreciéndole una noción más exacta de los hechos o fenómenos estudiados.
- Facilitan la adquisición y la fijación del aprendizaje.
- Motivan el aprendizaje.
- Estimulan la imaginación y la capacidad de abstracción del alumno.
- Economizan tiempo, tanto en las explicaciones, como en la percepción, comprensión y elaboración de conceptos.
- Estimulan las actividades de los alumnos, su participación activa.

⁸ Catedrático de Didáctica y Organización Escolar en la Universidad de Valencia.

⁹ Estudió Derecho en la Pontificia Universidad Católica del Perú.

¹⁰ Robert Mills Gagné, fue un psicólogo y pedagogo estadounidense. Estudió en Yale, y recibió su doctorado en la Universidad Brown, en 1940.

- Enriquecen el vocabulario. (Regalado, 2006)

Conociendo la importancia de los materiales didácticos es importante conocer la estructuración de estos.

1.3.3 Estructura de los materiales educativos

Según Rosa Saco¹¹ los materiales educativos deben:

- Estar en relación con los contenidos curriculares de la asignatura.
- Tener el medio físico apropiado para lograr una mejor comunicación.
- Emplear lenguajes que expresen adecuadamente los contenidos.
- Responder a objetivos curriculares guíen y motiven a los alumnos.
- Darse con instrucciones previas.
- Señalar los diversos procedimientos didácticos con el objeto de conducir el proceso del aprendizaje.
- Consignar bibliografía de consulta proporcionada con el objeto de ampliar el estudio del tema.

1.3.4 Tipos de material educativo

Según la función que desempeñan

Según R.M. Saco¹², plantea dos grandes grupos:

- **Los materiales que complementan la acción directa del profesor** apoyándolo en diversas tareas, tales como: dirigir y mantener la atención del estudiante, presentarle la información requerida, guiarle en la realización de prácticas, entre otras. Estos materiales pueden ser diapositivas, transparencias, guías de lectura o actividades, equipos de experimentación, programas en vídeo, entre otras.
- **Los materiales que suplen la acción directa del profesor** ya sea porque el docente lo prevé en un momento determinado o porque se trata de un sistema de enseñanza aprendizaje diseñado bajo la modalidad de educación a distancia. Estos materiales son de carácter autoinstructivo, es decir,

¹¹ Oscar López Regalado, (2006) Medios y Materiales Educativos, Lambayeque Perú

¹² *Ibíd.*, 24

conducen en forma didáctica los contenidos y actividades de aprendizaje, de tal manera que el estudiante pueda progresar en forma autónoma en el logro de determinados objetivos / capacidades. Para ello utilizan uno o más medios ya sea visuales auditivos o audiovisuales.

2.0 Fundamentos de Transferencia de Calor

2.1 Antecedentes

La temperatura de los cuerpos es un concepto que el hombre primitivo (precientífico) captó a través de sus sentidos. Si se tocan dos piedras iguales, una a la sombra y otra calentada por el sol (o por el fuego de una hoguera), se puede percibir que cada una tiene una temperatura diferente. Tienen algo distinto que detecta nuestro tacto, la temperatura.

La temperatura no depende de si la piedra se desplaza o de si está inmóvil y tampoco varía si se fragmenta. Las primeras valoraciones de la temperatura dadas a través del tacto son simples y poco matizadas. De una sustancia se puede decir que está caliente, tibia (caliente como el cuerpo humano), templada (a la temperatura del ambiente), fría y muy fría.

La transferencia de calor es la energía que se transfiere de un sistema a otro con menor temperatura, debido únicamente a la diferencia de temperaturas. Ejemplos de transferencia de calor son: el cuerpo humano cuando transfiere calor a los alrededores, el sistema de enfriamiento del motor de un automóvil cuando transfiere el calor de los cilindros al aire del ambiente mediante el radiador, los hogares calurosos en verano y fríos en invierno, etc. (Kern, 1999).

2.2 Definición

La transferencia de calor está relacionada con la razón de intercambio de calor entre cuerpos calientes y fríos llamados fuente y receptor. Cuando se vaporiza una libra de agua o se condensa una libra de vapor, el cambio de energía en los dos procesos es idéntico. La velocidad a la que cualquiera de estos procesos puede hacerse progresar con una fuente o receptor independiente es, sin

embargo, inherentemente muy diferente. Generalmente, la vaporización es un fenómeno mucho más rápido que la condensación.

El estudio de la transferencia de calor se facilitará grandemente mediante una mejor comprensión de la naturaleza de los mecanismos de transferencia de calor. Las leyes que pueden aplicarse a transiciones de masa pueden ser inaplicables a transiciones moleculares o atómicas, y aquellas que son aplicables a las bajas temperaturas pueden no serlo a las temperaturas altas. Para propósitos de ingeniería es necesario comenzar el estudio con información básica acerca de unos cuantos fenómenos.

Las fases de una sustancia simple, sólida, líquida y gaseosa, están asociadas con su contenido de energía. En la fase sólida, las moléculas o átomos están muy cercanos, logrando rigidez. En la fase líquida se obtiene suficiente energía térmica para extender la distancia de las moléculas adyacentes, de manera que se pierde la rigidez. En la fase de gas, la presencia de energía térmica adicional resulta en una separación relativamente completa de los átomos o moléculas, de manera que pueden permanecer en cualquier lugar de un espacio cerrado. También se ha establecido que, dondequiera que ocurra un cambio de fase fuera de la región crítica, se involucra una gran cantidad de energía en esa transición.

2.3 Mecanismos de Transferencia de Calor

Hay tres formas diferentes en las que el calor puede pasar de la fuente al receptor, aun cuando muchas de las aplicaciones en la ingeniería se dan por combinaciones de dos o tres formas. Estas son, conducción, convección y radiación (Kern, 1999).

2.3.1 Conducción

La conducción es la transferencia de calor a través de un material fijo tal como la pared estacionaria mostrada en la Fig. 1.

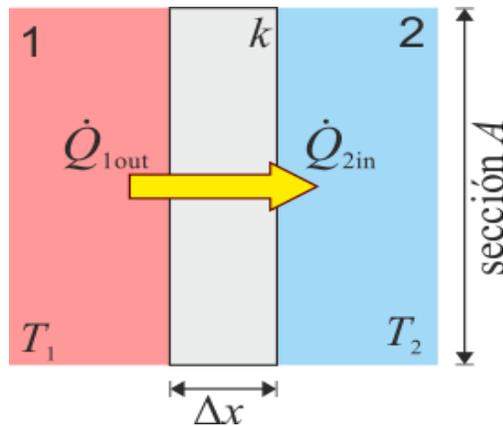


Figura 1 Flujo de calor a través de una pared. (Fuente propia)

La dirección del flujo de calor será perpendicular a la pared, si las superficies de las paredes son isotérmicas y el cuerpo es homogéneo e isotrópico. Supóngase que una fuente de calor existe a la izquierda de la pared y que existe un receptor de calor en la superficie derecha. Es conocido y después se confirmará por una derivación, que el flujo de calor por hora es proporcional al cambio de temperatura a través de la pared y al área de la pared A . Si t es la temperatura en cualquier punto de la pared y x es el grueso de la pared en dirección del flujo de calor, la cantidad de flujo de calor dQ es dada por:

$$dQ = kA \left(-\frac{dt}{dx} \right) \quad \text{Btu/hr}$$

Ecuación 1. Diferencial de conducción de calor.

El término $-\frac{dt}{dx}$ se llama gradiente de temperatura y tiene un signo negativo si se supuso una temperatura mayor en la cara de la pared en donde $x = 0$ y menor en la cara donde $x = X$. En otras palabras, la cantidad instantánea de transferencia de calor es proporcional al área y a la diferencia de temperatura dt que impulsa el calor a través de la pared de espesor x .

La constante de proporcionalidad k es peculiar a la conducción de calor por conductividad y se le conoce por conductividad térmica. Esta conductividad se evalúa experimentalmente y está básicamente definida por la Ec. (1).

La conductividad térmica de los sólidos tiene un amplio rango de valores numéricos dependiendo de si el sólido es relativamente un buen conductor del calor, tal como un metal, o un mal conductor como el asbesto. Estos últimos sirven como aislantes. Aun cuando la conducción de calor se asocia usualmente con la transferencia de calor a través de los sólidos, también es aplicable a gases y líquidos, con sus limitaciones (Kern, 1999).

2.3.2 Convección

La convección es la transferencia de calor entre partes relativamente calientes y frías de un fluido por medio de mezcla. Supóngase que un recipiente con un líquido se coloca Sobre una llama caliente. El líquido que se encuentra en el fondo del recipiente se calienta y se vuelve menos denso que antes, debido a su expansión térmica. El líquido adyacente al fondo también es menos denso que la porción superior fría y asciende a través de ella, transmitiendo su calor por medio de mezcla conforme asciende.

La transferencia de calor del líquido caliente del fondo del recipiente al resto, es convección natural o convección libre. Si se produce cualquiera otra agitación, tal como la provocada por un agitador, el proceso es de convección forzada.

Este tipo de transferencia de calor puede ser descrito en una ecuación que imita la forma de la ecuación de conducción y es dada por

$$dQ = hAdt$$

Ecuación 2. Diferencial de convección de calor.

La constante de proporcionalidad h es un término sobre el cual tiene influencia la naturaleza del fluido y la forma de agitación, y debe ser evaluado experimentalmente. Se llama coeficiente de transferencia de calor. Cuando la Ec. (2) se escribe en su forma integrada, $Q = kA\Delta t$, se le conoce como la ley del enfriamiento de Newton (Kern, 1999).

2.3.3 Radiación

La radiación involucra la transferencia de energía radiante desde una fuente a un receptor. Cuando la radiación se emite desde una fuente a un receptor, parte de la energía se absorbe por el receptor y parte es reflejada por él. Basándose en la segunda ley de la termodinámica, Boltzmann¹³ estableció que la velocidad a la cual una fuente da calor es:

$$dQ = \sigma \varepsilon dAT^4$$

Ecuación 3. Diferencial de radiación de calor.

Esto se conoce como la ley de la cuarta potencia, T es la temperatura absoluta. σ Es una constante dimensional, pero ε es un factor peculiar a la radiación y se llama emisividad. La emisividad, igual que la conductividad térmica k o el coeficiente de transferencia de calor h , debe también determinarse experimentalmente (Kern, 1999).

¹³ Ludwig Eduard Boltzmann (Viena, 20 de febrero de 1844 - Duino, Italia, 5 de septiembre de 1906) fue un físico austriacopionero de la mecánica estadística, autor de la llamada constante de Boltzmann

2.4 Superficies Extendidas o Aletas

La razón de la transferencia de calor desde una superficie que está a una temperatura T_s hacia el medio circundante que está a T_∞ se expresa por la ley de Newton¹⁴ del enfriamiento como:

$$Q_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty)$$

Ecuación 4. Ley de enfriamiento de newton.

Donde A_s es el área superficial de transferencia de calor y h es el coeficiente de transferencia de calor por convección. Cuando las temperaturas T_s , y T_∞ se fijan por consideraciones de diseño, como con frecuencia es el caso, existen dos maneras de incrementar la razón de la transferencia de calor: aumentar el coeficiente de transferencia de calor por convección, h , o aumentar el área superficial A_s . El aumento de h puede requerir la instalación de una bomba o ventilador, o reemplazar el existente con uno más grande, pero este procedimiento puede no ser práctico o adecuado. La alternativa es aumentar el área superficial al agregar unas superficies extendidas llamadas aletas, hechas de materiales intensamente conductores como el aluminio. Las superficies con aletas se fabrican al extruir, soldar o envolver una delgada lámina metálica sobre una superficie. Las aletas mejoran la transferencia de calor desde una superficie al exponer un área más grande a la convección y la radiación.

Las superficies con aletas son de uso común en la práctica para mejorar la transferencia de calor y a menudo incrementan la razón de esa transferencia desde una superficie varias veces. En el análisis de las aletas, se considera operación estacionaria sin generación de calor en la aleta y se supone que la conductividad térmica k del material permanece constante. También, por conveniencia en el análisis, se supone que el coeficiente de transferencia de

¹⁴ Isaac Newton fue un físico, filósofo, teólogo, inventor, alquimista y matemático inglés

calor por convección, h , es constante y uniforme sobre toda la superficie de la aleta. Se reconoce que, en general, ese coeficiente h varía a lo largo de la aleta así como de su circunferencia y que su valor en un punto es una fuerte función del movimiento del fluido en ese punto.

El valor de h suele ser mucho más bajo en la base de la aleta que en la punta de la misma debido a que, cerca de la base, el fluido está rodeado por superficies sólidas, las cuales obstaculizan seriamente su movimiento hasta el punto de "asfixiarlo", en tanto que el fluido cercano a la punta de la aleta tiene poco contacto con una superficie sólida y, como consecuencia, encuentra poca resistencia al flujo.

Por lo tanto, la adición de demasiadas aletas sobre una superficie en realidad puede disminuir la transferencia de calor total cuando el decremento en h nulifica cualquier ganancia resultante del aumento en el área superficial (Kern, 1999).

2.5 Tipos de Superficies extendidas

Las formas que adoptan las aletas son muy variadas, y dependen en gran medida de la morfología del sólido al que son adicionales y de la aplicación concreta:

- La aleta se denominada aguja cuando la superficie extendida tiene forma cónica o cilíndrica.
- La expresión aleta longitudinal se aplica a superficies adicionales unidas a paredes planas o cilíndricas.
- Las aletas radiales van unidas coaxialmente a superficies cilíndricas (Kern, 1999).

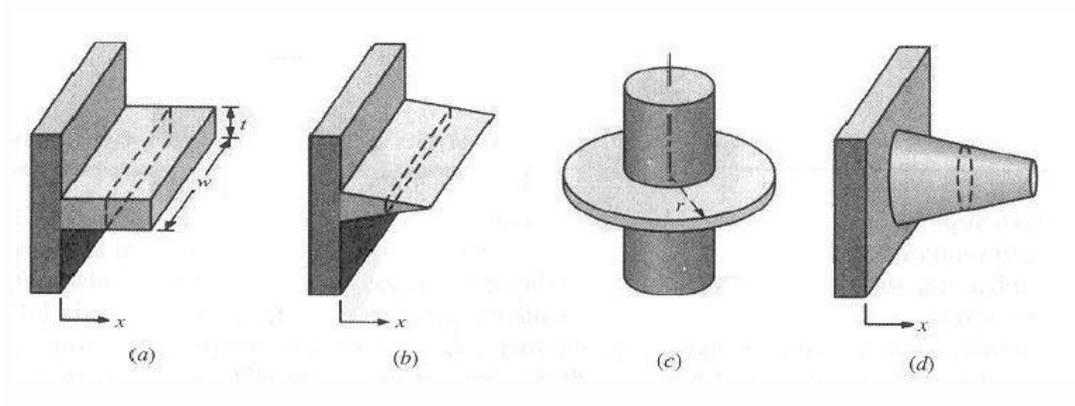


Figura 2 Tipos de Aletas (Información propia). a) y b) Longitudinales, c) Radiales, d) Espina

2.6 Uso en la Industria de Superficies Extendidas

A continuación se muestran algunos usos de aletas en la industria:

- Motores Electricos



Figura 3. Aletas utilizadas en motores eléctricos

➤ Refrigeradores



Figura 4. Aletas utilizadas en los serpentines de un refrigerador.

➤ Circuitos Electrónicos



Figura 5. Aletas en circuitos electrónicos

➤ Intercambiadores de calor

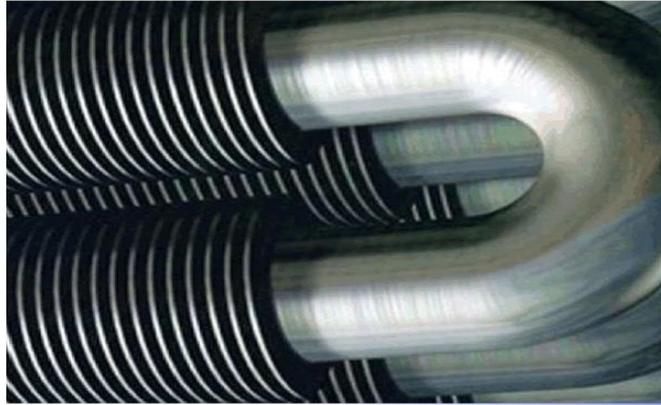


Figura 6. Aletas en un intercambiador de calor.

➤ Radiador de automóvil



Figura 7. Aletas en un radiador.

Ahora que ya se conocen algunas de las aplicaciones de aletas en la industria, es necesario que caractericemos los diferentes tipos de aletas existentes.

3.0 Ecuaciones de los parámetros de caracterización en aletas

A continuación se mencionaran los diferente parámetros que caracterizan las aletas y al mismo tiempo explicaremos cada uno de ellos.

3.1 Eficiencia

Harper y Brown¹⁵ (harper and Brown, 1992) definieron la eficiencia (ecuación) como la relación entre el calor disipado por la aleta en la unidad de tiempo y el que disiparía si toda ella estuviera a la temperatura de la base (figura 8). Sin embargo la temperatura de la aleta decaerá a lo largo de ella y por lo tanto la transferencia de la misma será menor debido a diferencia decreciente en la temperatura, hacia la punta como se muestra en la (figura 8), para considerar este efecto de esta disminución en la temperatura sobre la transferencia de calor se define la eficiencia de una aleta.

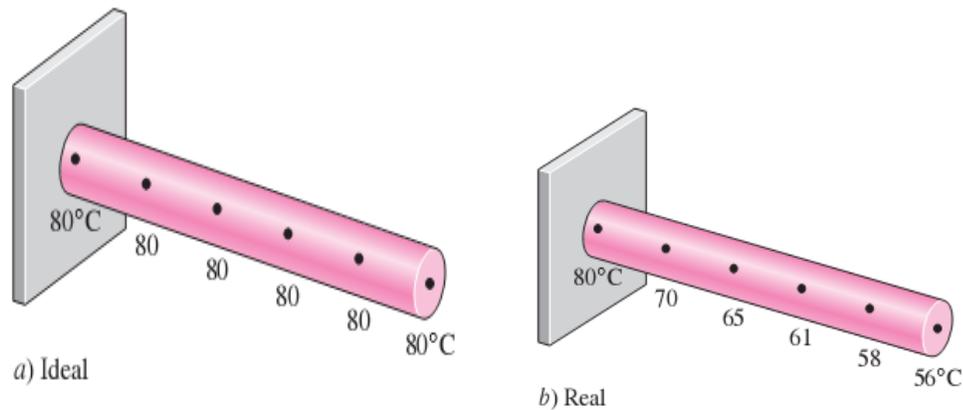


Figura 8. Distribución de la temperatura en una aleta a) ideal b) real (Cengel 2012)

La expresión para la eficiencia es:

¹⁵ Incropera, F. P. (1999). Fundamentos de Transferencia de Calor (cuarta edición). México: Prentice Hall.

$$\eta = \frac{\dot{Q}_b}{hA_f\theta_b} = \frac{\dot{Q}_f}{hA_f\theta_b}$$

Ecuación 5. Eficiencia de una aleta.

Dónde:

$\dot{Q}_f = \dot{Q}_b$ Es el Calor que disipa la aleta. Para flujo estacionario es igual en cantidad al que ingresa por la base a la misma.

h : es el coeficiente de transferencia de calor por convección.

A_f : es el área superficial total de aleta.

θ_b : es el exceso o sobre temperatura de la base de la aleta respecto al entorno de ésta.

Una definición alternativa para la eficiencia es: la relación entre el calor disipado por la aleta y el que disiparía la misma aleta en conductividad infinita (A., 2004).

3.2 Efectividad

Definida por Gardner¹⁶ (Gardner, 1942), la efectividad (ecuación 6) es la relación entre el calor conducido a través de la base de la aleta y el que se disiparía por la misma área de la base de la superficie primaria, a la misma temperatura, si la aleta no estuviera presente figura 9. En otras palabras el desempeño de aletas se juzga sobre la base del mejoramiento en la transferencia de calor comparado con el caso que no usen aletas.

¹⁶ Ver pie de página 18

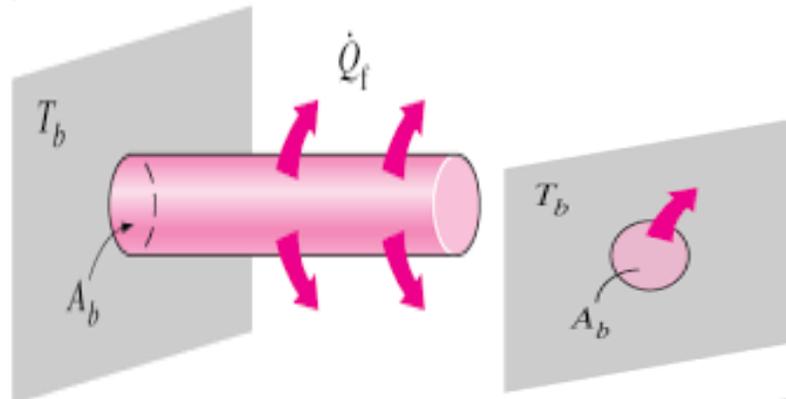


Figura 9. Esquema de efectividad. Superficie con aleta y superficie sin aleta (Cengel, 2012)

La expresión para efectividad donde se relaciona la eficiencia es:

$$\xi = \frac{\dot{Q}_f}{hA_f\theta_b} = \frac{\dot{Q}_b}{hA_b\theta_b} = \frac{A_f}{A_b}\eta$$

Ecuación 6. Efectividad relacionando la eficiencia.

Dónde:

A_b : es el área transversal de la aleta en la base.

Una efectividad de $\xi = 1$ indica que la adicción de aletas a la superficie no afecta la transferencia de calor en lo absoluto. Es decir que el calor conducido hacia la aleta del área de la base es igual al calor transferido desde la misma área al medio circundante.

Para una efectividad de $\xi < 1$ indica que, en realidad la aleta, actúa como un aislamiento retardando la transferencia de calor desde la superficie, esta

situación se presenta cuando se tienen aletas hechas con materias con baja conductividad térmica.

En el caso de una efectividad de $\xi > 1$ indica que la aletas están mejorando la transferencia de calor desde la superficie como debe de ser.

Se pueden sacar varias conclusiones importantes con base en la relación antes dada de la efectividad para que sean consideradas en el diseño y la selección de las aletas.

- La conductividad térmica k del material debe ser tan alta como sea posible. Es común que se encuentre hecha de materiales como cobre, aluminio y el hierro. Las que más se utilizan con mayor amplitud están hechas de aluminio debido a su costo y peso bajos, y a su resistencia a la corrosión.
- La razón entre el perímetro y el área de la sección transversal de la aleta, debe ser tan alta como sea posible. Este criterio lo satisfacen las aletas de placa delgada y las de perno esbelto.
- El uso de aletas es más efectivo en aplicaciones que comprenden un bajo coeficiente de transferencia de calor por convección, es uso de aletas se justifica con más facilidad cuando el medio es un gas en lugar de un líquido y la transferencia de calor es por convección natural en lugar de ser forzada.

Para un conjunto de aleta pared se tiene el coeficiente de efectividad global de superficie proyectada ξ_0 , (ecuación 7), definido como la relación entre el calor disipado por una superficie con aletas \dot{Q}_{fp} , y el que disipa la misma superficie sin aleta \dot{Q}_0 .

$$\xi_0 = \frac{\dot{Q}_{fp}}{\dot{Q}_0}$$

Ecuación 7. Efectividad global de superficie proyectada.

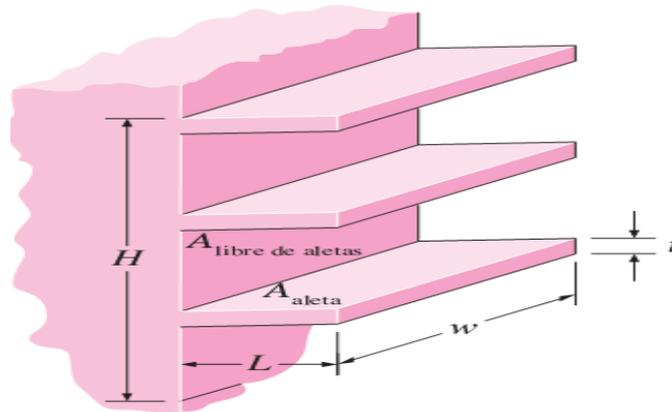


Figura 10- conjunto aleta-pared (Cengel, 2012)

Para un conjunto aleta-pared (figura 10) se considera que la temperatura en la base de la aleta es la temperatura de toda la pared, por lo que todo el calor disipado por este conjunto lo expresa la ecuación 8:

$$\dot{Q}_{fb} = \dot{Q}_p + \dot{Q}_f = h(A_p + \eta A_f)\theta_b$$

Ecuación 8. Conjunto aleta-pared.

Donde

\dot{Q}_{fb} : Calor disipado por el conjunto aleta-pared.

\dot{Q}_p : Calor disipado por la pared, donde no hay aletas.

\dot{Q}_f : Calor disipado por la aleta.

A_p : Área de la pared sin aletas, por donde se disipa \dot{Q}_p (A., 2004).

3.3 Admitancia de entrada

Este parámetro proporciona información directa del calor disipado en función únicamente de la sobre temperatura en la base (driving force). Es el resultado de una formulación matricial de funciones de transferencia que permite la evaluación de aletas con disposiciones especiales (en serie, ramificadas, bucles, etc.), para lo que se apoya en la teoría de grafos, lo cual le confiere una gran potencia y versatilidad (discretización de aletas, inclusión de fuentes térmicas, etc.). Kraus¹⁷ y col. (Kraus et al., 1978) definen el coeficiente admitancia (ecuación 9) de la siguiente forma:

$$Y_i = \frac{\dot{Q}_b}{\theta_b}$$

Ecuación 9. Admitancia de entrada.

Y esta relación con la eficiencia por medio de la expresión $Y_i = \eta h A_f$ (Incropera, 1999)

3.4 Factor de aumento y coeficiente de mejora

El factor de aumento, Aug , (augmentation factor, ecuación 10) fue definido por Heggs. (Heggs and Stone, 1980) para sistemas aleta-pared sometidos a convección y radiación y mide el aumento de calor que se obtiene en una pared al añadir una aleta. Compara el calor transmitido por la superficie compuesta

¹⁷ *Ibíd.*, 37 pie de pagina 18

(aleta-pared) con el que transmitiría la pared desnuda, para un mismo gradiente térmico entre el fluido a ambos lados del sistema considerado. Su definición se basa en el concepto de resistencia térmica así:

$$Aug = \frac{\dot{Q}_{fp}}{\dot{Q}_{pd}} = \frac{R_{Tpd}}{R_{Tfp}} = \frac{R_1 + R_p + R_2}{R_1 + R_p + R_{2fp}}$$

Ecuación 10. Factor de aumento.

Dónde:

R_{Tpd} : Resistencia total de la pared desnuda.

R_{2fp} : Resistencia total del conjunto aleta-pared.

R_1 y R_2 : Son las resistencias convectivas de la pared desnuda bañada por los fluidos 1 y 2.

R_p : es la resistencia de la pared.

$R_{2fp} = \frac{\theta_b}{\dot{Q}_{fp}} = \frac{1}{h(A_p + \eta A_f)}$: es la resistencia del conjunto aleta-pared bañado por el fluido 2 (Incropera, 1999).

Ahora ya establecidos los diferentes parámetros de las superficies extendidas, procederemos a conocer las ecuaciones que rigen a estas.

3.5 Ecuaciones que gobiernan la transferencia de calor en las superficies extendidas

A continuación se describen las ecuaciones que rigen la transferencia de calor en los diferentes tipos de superficies extendidas.

3.5.1 Ecuación general de la energía en una superficie extendida

Para determinar la transferencia de calor asociada con una aleta, primero se debe obtener la distribución de temperatura a lo largo de la aleta. Se lleva a cabo un balance de energía sobre un sistema diferencial apropiado se representa por la figura 11.

Para simplificar el análisis se hacen las siguientes superposiciones:

- Se suponen condiciones unidimensionales en la dirección longitudinal (x), aunque la conducción dentro de la aleta es en realidad bidimensional.
- Se consideran condiciones de estado estable.
- Se supone que la conductividad térmica es una constante.
- Que la radiación desde la superficie es insignificante.
- No existe generación de calor.
- Que el coeficiente de transferencia de calor por convección (h), es uniforme sobre la superficie.

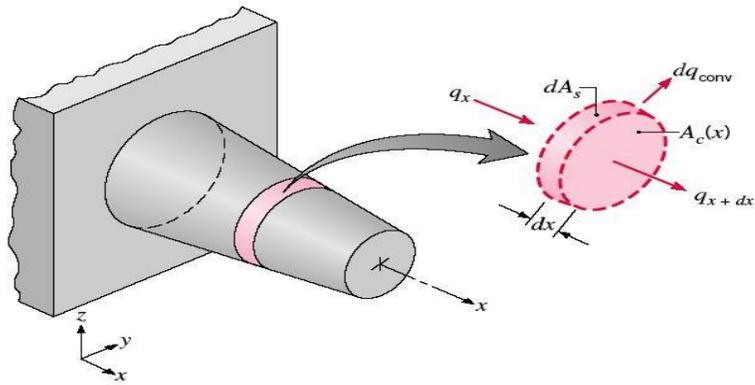


Figura 11. Esquema para la ecuación general de la transferencia de calor en aletas.

Utilizando la superficie extendida de la figura 11, aplicando los requerimientos de conservación de la energía para el elemento diferencial, se tiene:

$$\dot{Q}_x = \dot{Q}_{x+dx} + d\dot{Q}_{conv}$$

Ecuación 11. Conservación de energía para elemento diferencial.

De la ley de Fourier sabemos que:

$$\dot{Q}_x = -kA_c \frac{dT}{dx}$$

Dónde: A_c es el área de la sección transversal que varía con x , como la conducción de calor en $x + dx$ se expresa como:

$$\dot{Q}_{x+dx} = \dot{Q}_x + \frac{d\dot{Q}_x}{dx} dx$$

Además:

$$dQ_{conv} = h dA_s (T - T_{\infty})$$

Dónde:

$dA_s(x)$: es el área superficial del elemento diferencial, que varía con x .

Sustituyendo en la ecuación del balance de energía (ecuación 11), se tiene:

$$\frac{d^2 T}{dx^2} + \frac{1}{A(x)} \frac{dA(x)}{dx} \frac{dT}{dx} - \frac{h\theta(x)}{kA(x)} \frac{dA_s}{dx} = 0$$

Ecuación 12. Segundo grado homogéneo en función de longitud de la aleta.

Donde $\theta(x) = T(x) - T_{\infty}$ es el perfil de temperatura de la aleta a lo largo de x . Pero como $d\theta(x) = dT(x)$ de la ecuación 12 puede describirse de la manera siguiente:

$$\frac{d^2 \theta(x)}{dx^2} + \frac{1}{A(x)} \frac{dA(x)}{dx} \frac{d\theta(x)}{dx} - \frac{h\theta(x)}{kA(x)} \frac{dA_s(x)}{dx} = 0$$

Ecuación 13. Segundo grado homogéneo en función de la longitud para condiciones unidimensionales.

Esta expresión proporciona una forma general de la ecuación de energía para condiciones unidimensionales en una superficie extendida. La solución para condiciones de frontera apropiadas proporciona la distribución de temperatura,

que se usa para calcular la transferencia de calor por conducción en cualquier x (Incropera, 1999).

3.5.2 Solución general para cada tipo de aleta

3.5.2.1 Aletas rectangulares y circulares con área de sección transversal constante

Consideraciones:

- La aleta está unida a una superficie con temperatura de base $T(0) = T_b$ y se extiende en un fluido de temperatura T_∞ .
- Como la sección es constante, $A_s(x) = A$ es una constante.
- $A_s(x)$ es el área de la superficie de la aleta, medida desde la base hasta x . Si P es el perímetro de la sección, entonces $A_s(x) = Px$.

A partir de la consideraciones y de la figura 12, se obtiene que $\frac{dA(x)}{dx} = 0$ y

$$\frac{dA_s(x)}{dx} = P.$$

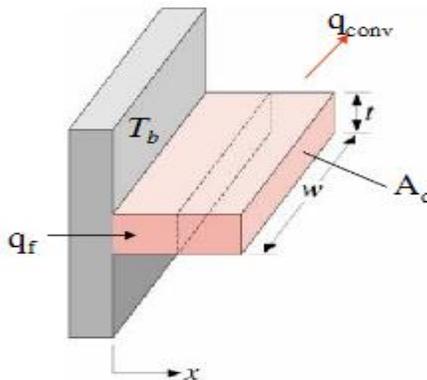


Figura 12. Aletas con área de sección transversal constante (Incropera, 1999).

La ecuación 13 se reduce a:

$$\frac{d^2\theta(x)}{dx^2} - m^2\theta(x) = 0$$

Ecuación 14. Conservación de energía para aletas con área de sección transversal constante.

Donde $m^2 = \frac{hP}{kA}$ Y es una constante.

La ecuación 14 es una ecuación diferencial lineal de segundo orden, homogénea, con coeficientes constantes. Su solución general es $\theta(x) = C_1e^{mx} + C_2e^{-mx}$. Para evaluar las constantes, es necesario especificar fronteras apropiadas.

A continuación se procede a considerar las diferentes condiciones que se pueden tener en la transferencia de calor en las superficies extendidas.

a) Condición de frontera en la base de la aleta.

Se especifica en términos de la temperatura en la base, por lo que la primera condición de frontera es: $\theta(0) = T_b - T_\infty = \theta_b$

b) Condición frontera en la punta de la aleta.

Esta condición puede corresponder a cualquier de cuatro situaciones siguientes:

Caso1

Existe una temperatura cualquiera en el extremo ($x=L$) de modo que $T_L > T_\infty$ y que no se aproxime a cero, por lo que la segunda condición de frontera para la aleta, es: $\theta(L) = T_b - T_\infty = \theta_L$

Resolviendo la ecuación general de la energía para superficies extendidas, por medio de su solución general, el perfil de temperatura es:

$$\frac{\theta(x)}{\theta_b} = \frac{\frac{\theta_L}{\theta_b} \sinh(mx) - \sinh[m(L-x)]}{\sinh(mL)}$$

Ecuación 15. Perfil de temperatura para una aleta con sección transversal constante.

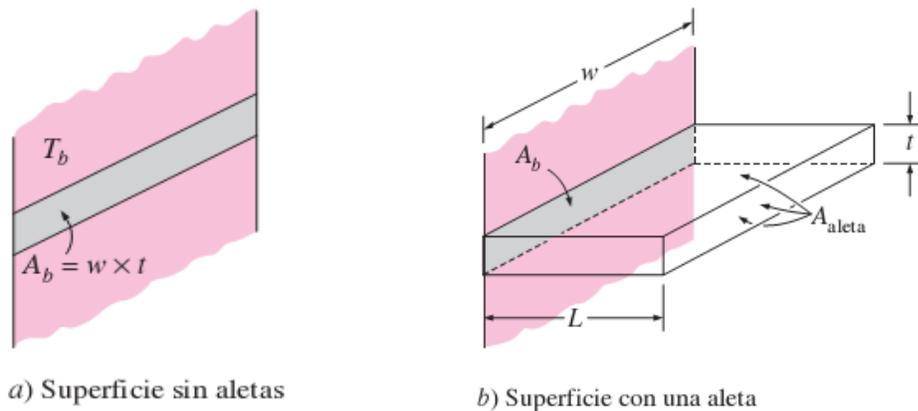


Figura 13. Calor disipado en la aleta (Cengel, 2012).

El calor disipado por convección en la aleta, es el valor que entra por la base ($\dot{Q}_f = \dot{Q}_b$) como se deduce de la figura 13.

De la ley de Fourier se tiene $\dot{Q} = -kA_c \frac{dT}{dx} = -kA \frac{d\theta(x)}{dx}$ por lo que la transferencia de calor desde la aleta es $\dot{Q}_f = \dot{Q}_b = -kA \frac{d\theta(x)}{dx} |_{x=0}$ usando la ecuación 15 resulta:

$$\dot{Q}_f = \dot{Q}_b = \sqrt{hPkA} \theta_b \frac{\cosh(mL) - \frac{\theta_L}{\theta_b}}{\sinh(mL)}$$

Ecuación 16. Transferencia de calor para sección transversal constante.

Para la eficiencia, a partir de la ecuación 5 y la ecuación 16, se tiene:

$$\eta = \frac{1}{mL} \frac{\cosh(mL) - \frac{\theta_L}{\theta_b}}{\sinh(mL)}$$

Ecuación 17. Eficiencia de una aleta de sección transversal en función de la temperatura del extremo.

Con la ecuación 17 puede encontrarse la eficiencia la aleta siempre que se conozca la temperatura en el extremo de esta.

Caso 2

Existe transferencia de calor por convección desde el extremo de la aleta ($x=L$). En este caso la rapidez a la que la energía se transfiere hacia el fluido por convección desde el extremo debe ser igual a la rapidez a la que la energía alcanza el extremo por conductividad a través de la aleta, es decir que debe cumplirse:

$$hA(T_L - T_\infty) = -kA \frac{d\theta(x)}{dx} \Big|_{x=L}$$

Por lo que la segunda condición de frontera resulta ser: $h\theta_L = -k \frac{d\theta(x)}{dx} \Big|_{x=L}$

Resolviendo la ecuación 14, el perfil de temperatura que se obtiene, es:

$$\frac{\theta(x)}{\theta_b} = \frac{\cosh[m(L-x)] + \frac{h}{mk} \sinh[m(L-x)]}{\cosh(mL) + \frac{h}{mk} \sinh(mL)}$$

Ecuación 18. Perfil de temperatura sección transversal constante donde existe transferencia por convección.

En la figura 14 puede verse el perfil de temperatura para esta condición.

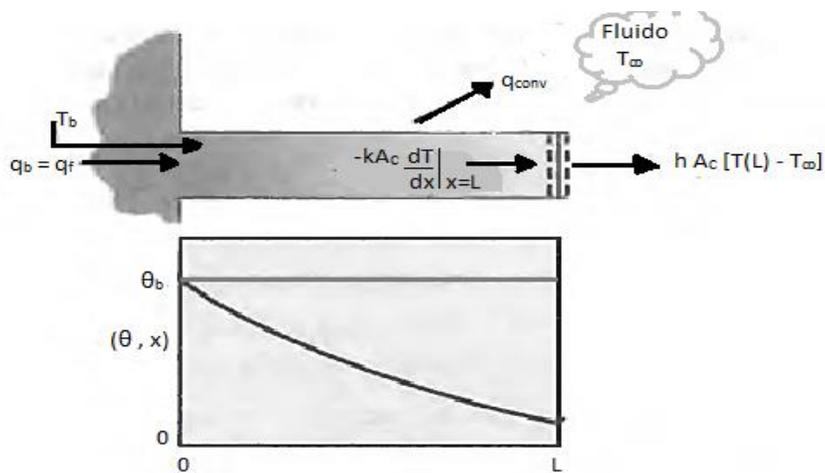


Figura 14. Perfil de temperatura de la longitud de una aleta con convección en la punta (Incropera, 1999).

A partir de la ley de Fourier y usando la ecuación 18 se tiene:

$$\dot{Q}_f = \dot{Q}_b = \sqrt{hPkA_b} \frac{\sinh(mL) + \frac{h}{mk} \cosh(mL)}{\cosh(mL) + \frac{h}{mk} \sinh(mL)}$$

Ecuación 19. Transferencia de calor de una aleta con sección transversal constante con convección.

A partir de la ecuación 5 y la ecuación 17, se obtiene:

$$\eta = \frac{1}{mL} \frac{\cosh(mL) + \frac{h}{mk} \cosh(mL)}{\cosh(mL) + \frac{h}{mk} \sinh(mL)}$$

Ecuación 20. Eficiencia de una aleta de sección transversal constante con convección.

Con la ecuación 20 puede encontrarse la eficiencia de la aleta cuando existe convección en su extremo.

Caso 3

La pérdida de calor convectiva es insignificante, o el extremo de la aleta está aislado, en cuyo caso el extremo se trata como adiabático, por lo que no existe transferencia de calor, es decir: $\frac{d\theta(x)}{dx} \Big|_{x=L} = 0$

A partir de la ecuación 16, se tiene que el perfil de temperatura es:

$$\frac{\theta(x)}{\theta_b} = \frac{\cosh[m(L-x)]}{\cosh(mL)}$$

Ecuación 21. Perfil de temperatura de una sección transversal constante sin pérdida por convección.

Usando el perfil de temperatura (ecuación 21) y la ley de Fourier:

$$\dot{Q}_f = \dot{Q}_b = \sqrt{hPkA}\theta_b \tanh(mL)$$

Ecuación 22. Transferencia de calor en una aleta de sección transversal constante sin pérdida por convección.

A partir de la ecuación 22 y su definición, la eficiencia es:

$$\eta = \frac{1}{mL} \tanh(mL)$$

Ecuación 23. Eficiencia de una aleta de sección transversal constante sin pérdida por convección.

Con la ecuación 23 puede encontrarse la eficiencia de la aleta cuando no existe convección en su extremo es decir, la punta de esta se encuentra aislada, o bajo condiciones adiabáticas.

Caso 4

La aleta, es muy larga de modo que $L \rightarrow \infty$ y por lo tanto $T_L \rightarrow T_\infty$, dando como resultado que la segunda condición de frontera sea:

$$\theta(L) = T_L - T_\infty = \theta_b = 0$$

Resolviendo la ecuación 14, el perfil de temperatura que se obtiene, es:

$$\frac{\theta(x)}{\theta_b} = e^{-mx} = e^{-\sqrt{\frac{hp}{kA}}x}$$

Ecuación 24. Perfil de temperatura de una aleta de sección transversal constante con longitud muy larga.

Puede verse que en este caso el perfil de temperatura a lo largo de la aleta disminuye exponencialmente (figura 15).

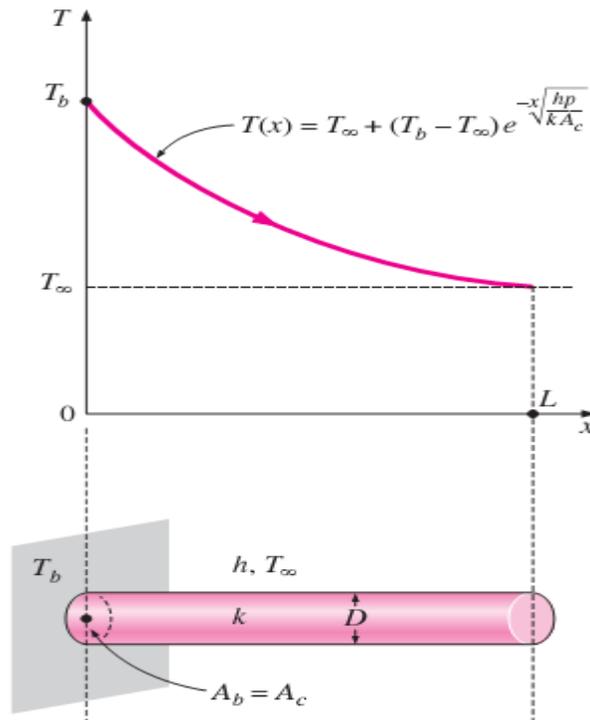


Figura 15. Perfil de temperatura de una aleta cilíndrica con sección transversal constante (Cengel, 2012).

Usando la ecuación 24 y $\dot{Q}_f = \dot{Q}_b = -kA \frac{d\theta(x)}{dx} |_{x=0}$, resulta:

$$\dot{Q}_f = \dot{Q}_b = \sqrt{hPkA}\theta_b$$

Ecuación 25. Transferencia de calor de una aleta de sección transversal constante con longitud muy larga.

A partir de la ecuación 7 y la ecuación 25: $\eta = \frac{1}{mL}$

Ecuación 26. Eficiencia de una aleta de sección transversal constante con longitud muy larga.

La ecuación 26 nos proporciona la eficiencia de una aleta con área de sección transversal constante, siempre que esa aleta sea de una longitud tal que pueda considerarse infinita. Debe cumplirse: $L \geq \frac{4.60}{m}$. Para tener más simplicidad en los cálculos, el caso 2 puede reducirse al caso 2, si se usa una longitud de aleta corregida (figura16) (A., 2004).

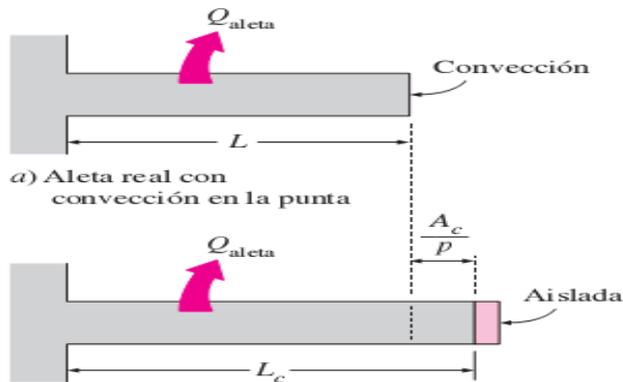


Figura 16. Longitud equivalente para una aleta con convección en el extremo (Cengel, 2012).

Se usan las ecuaciones del caso 3, sustituyendo L_c en lugar de L . En donde:

$$L_c = L + \frac{A}{P}$$

3.5.3 Aletas con are e sección transversal no uniforme

3.5.3.1 Aletas anulares

Aun cuando es espesor (t) de la aleta sea uniforme, el área de la sección transversal $A(r) = 2\pi r t$ el área de la superficie es $A_s(r) = 2\pi(r^2 - r_1^2)$ varían con r (figura 17).

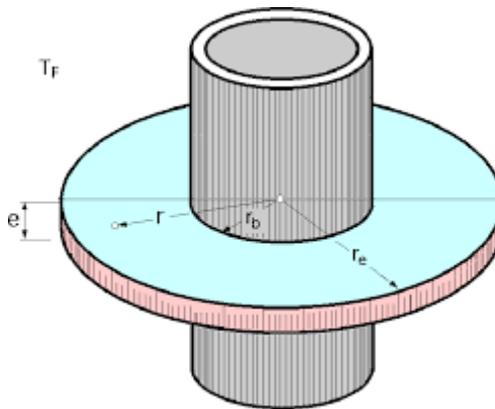


Figura 17. Aleta circular (fuente electrónica).

En este caso se conserva todos los términos de ecuación 16, se sustituye $x = r$ y se simplifica para obtener:

$$\frac{d^2\theta(r)}{dr^2} = \frac{1}{r} \frac{d\theta(r)}{dr} - n^2\theta(r) = 0$$

Ecuación 27. Conservación de energía en función del radio para aletas con sección transversal no uniforme.

Dónde: $n^2 = \frac{2h}{kt}$

La ecuación 27 es una ecuación de Bessel modificada de orden cero. La solución general, es:

$$\theta(r) = C_1 I_0(mr) + C_2 K_0(mr)$$

Ecuación 28. Solución general de Bessel.

Donde I_0 y K_0 son funciones de Bessel de orden cero modificadas de 1ª y 2ª clase, respectivamente.

Caso 1: Extremo adiabático

La condición de frontera en la base de la aleta es $\theta(r_1) = \theta_b = T_L - T_\infty$ y en el extremo se considera que la periferia es adiabática, por lo que $\frac{d\theta(r)}{dr} |_{r_2} = 0$

Haciendo uso de ecuación 28 y las condiciones de frontera, la solución para el perfil de temperatura es:

$$\frac{\theta(r)}{\theta_b} = \frac{I_0(mr)k_1(mr_2) + k_0(mr)I_1(mr_2)}{I_0(mr)k_2(mr_2) + k_0(mr_1)I_1(mr_2)}$$

Ecuación 29. Perfil de temperatura de una aleta con sección Transversal no uniforme con extremo adiabático.

Dónde: $I_1(mr_2) = \frac{d[I_0(mr)]}{d(mr)}$ y $k_1(mr) = -\frac{d[k_0(mr)]}{d(mr)}$ y son funciones de Bessel¹⁸ de primer orden modificadas de 1ª y 2ª clase.

Como $\dot{Q}_f = \dot{Q}_b = -kA \frac{d\theta(r)}{dr} |_{r=r_1}$ a partir de la ecuación 29, resulta:

$$\dot{Q}_f = \dot{Q}_b = 2\pi k t r_1 \theta_b n \frac{K_1(mr_1)I_1(mr_2) - I_1(mr_1)K_1(mr_2)}{K_0(mr_1)I_1(mr_2) + I_0(mr_1)K_1(mr_2)}$$

Ecuación 30. Transferencia de calor de una aleta de sección transversal no uniforme con extremo adiabático.

Para la eficiencia, a partir de la ecuación 30, se tiene:

$$\eta = \frac{2\pi r_1}{n(r_2^2 - r_1^2)} \frac{K_1(mr_1)I_1(mr_2) - I_1(mr_1)K_1(mr_2)}{K_0(mr_1)I_1(mr_2) + I_0(mr_1)K_1(mr_2)}$$

Ecuación 31. Eficiencia de aletas con sección transversal no uniforme con extremo adiabático.

Se usa la ecuación 31 para encontrar la eficiencia de una aleta anular con condiciones convectivas en la punta.

Caso 2: Extremo convectivo

Para este caso, se suele usar un radio de periferia corregido: $r_{2c} = r_2 + t/2$ y se usan las mismas ecuaciones del caso anterior, sustituyendo r_{2c} en r_2 . En la

¹⁸ Friedrich Wilhelm Bessel (22 de julio, 1784 - 17 de marzo, 1846) fue un matemático alemán, astrónomo, y sistematizador de las funciones de Bessel (las cuales, a pesar de su nombre, fueron descubiertas por Daniel Bernoulli).

figura 18 se presenta un resumen de la eficiencia para varios tipos de aletas con sección transversal constante y variable (Incropera, 1999).

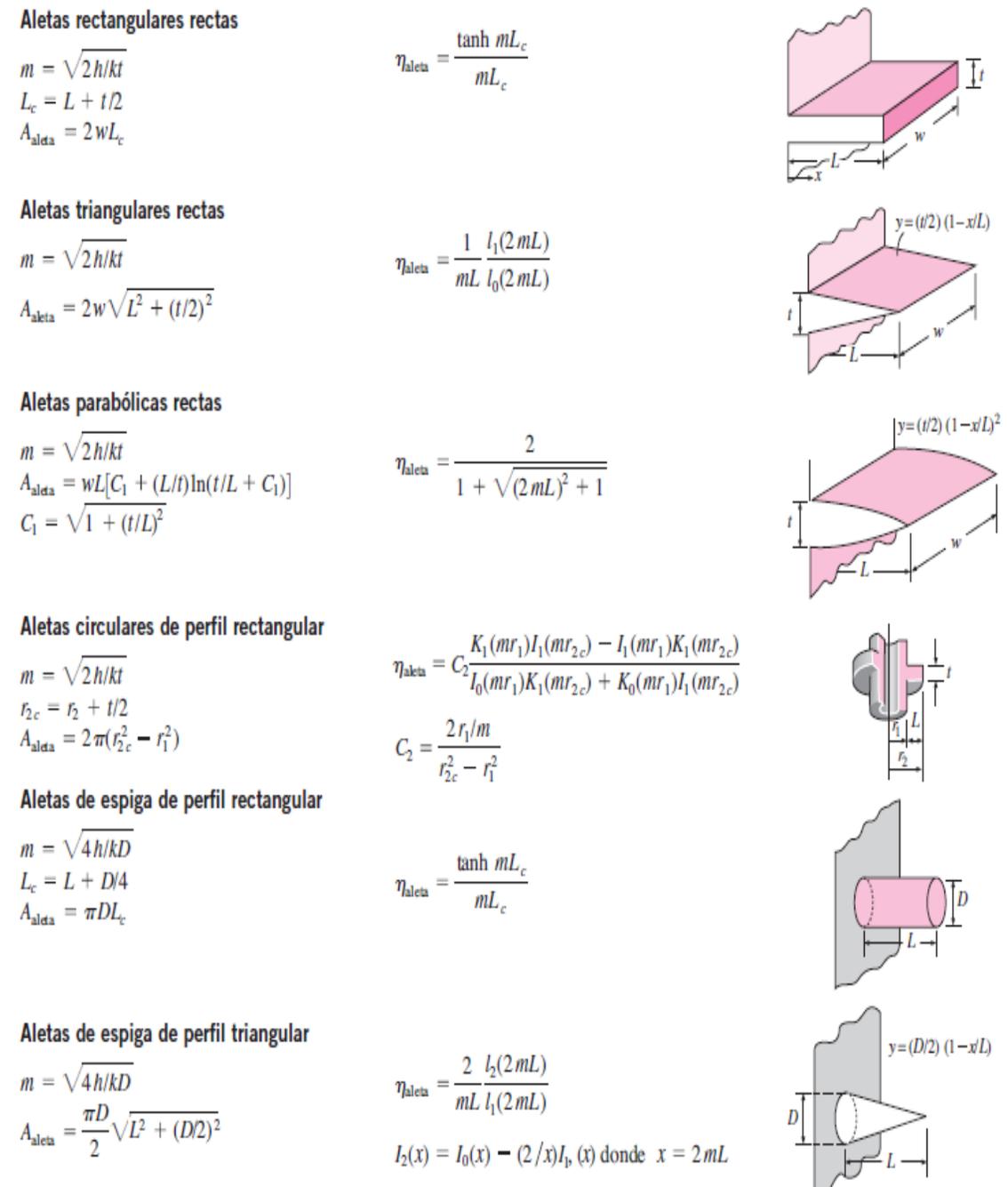


Figura 18. Eficiencia para las formas de aletas comunes (Cengel, 2012).

3.5.4 Parámetros de medición en superficies extendidas

En el diseño de las aletas, interesa el calor total transferido por la aleta, para luego caracterizarlas con los parámetros de la sección antes vitas. La transferencia de calor de la aleta \dot{Q}_f se puede evaluar de dos formas distintas.

Forma 1: en este caso el procedimiento es simple. Se aplica la ley de Fourier a la base de la aleta es decir:

$$\dot{Q}_f = \dot{Q}_b = kA_b \left. \frac{dT(x)}{dx} \right|_{x=0} = kA_b \left. \frac{d\theta(x)}{dx} \right|_{x=0}$$

Ecuación 32. Medición de transferencia de calor en la base de la aleta.

Forma 2: por conservación de energía, la rapidez a la que se evacua el calor por convección de la aleta, debe ser igual a la rapidez a la que se conduce por la base de la aleta. En la ecuación, se tiene:

$$\dot{Q}_f = \int_{A_f} h(T(x) - T_\infty) dA_s = \int_{A_f} h\theta(x) dA_s$$

Ecuación 33. Medición de transferencia de calor por conservación de energía.

Como puede verse en la ecuación 32 y la ecuación 33, ambas formas implica el uso de la distribución de temperaturas, por lo que encontrar el perfil de temperatura en la aleta es lo primordial cuando se realizan mediciones en ella. También se requieren las propiedades del material de la aleta (conductividad térmica) así como su geometría (largo, ancho, espesor, radios, etc.) y Las condiciones ambientales (coeficientes de convección, temperatura del fluido en el cual se encuentra la aleta) (Incropera, 1999).

4.0 Tarjetas Arduino

En la construcción del equipo se utiliza una tarjeta arduino uno, la cual cumple las siguientes características:

El Uno es una placa electrónica basada en el ATmega328P. Cuenta con 14 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de cuarzo de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un header ICSP y un botón de reinicio.

4.1 Definición

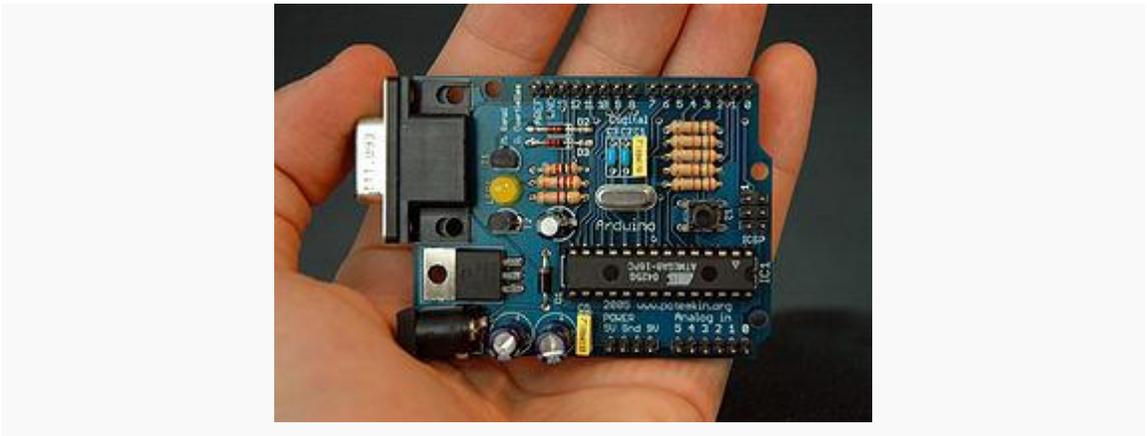


Figura 19. . Placa Arduino RS232

Arduino es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.

El hardware consiste en una placa con un microcontrolador Atmel AVR y puertos de entrada/salida. Los microcontroladores más usados son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280, y Atmega8 por su sencillez y bajo coste que permiten el desarrollo de múltiples diseños. Por otro lado el software consiste en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación Processing/Wiring y el cargador de arranque que es ejecutado en

la placa. Se programa en el ordenador para que la placa controle los componentes electrónicos.

4.2 Tipos de Placas Arduino

Algunos de ejemplos de placas arduinos que se pueden mencionar son los siguientes:

- Arduino Uno
- Arduino Leonardo
- Arduino Due
- Arduino Yún
- Arduino Tre (En Desarrollo)
- Arduino Zero (En venta en la tienda de EEUU)
- Arduino Micro
- Arduino Esplora
- Arduino Mega ADK

Entre muchos otros tipos de Arduino que acá tampoco se mencionan. Una vez identificados algunos tipos de placas, es necesario conocer ejemplos de las diferentes aplicaciones en que se pueden utilizar.

4.3 Aplicaciones

La plataforma Arduino ha sido usada como base en diversas aplicaciones electrónicas:

- Xoscillo: Osciloscopio de código abierto.
- Equipo científico para investigaciones.
- Arduinome: Un dispositivo controlador MIDI.

- OBDuino: un económetro que usa una interfaz de diagnóstico a bordo que se halla en los automóviles modernos.
- Ardupilot: software y hardware de aeronaves no tripuladas.
- ArduinoPhone: un teléfono móvil construido sobre un módulo Arduino.
- Impresoras 3D.

A continuación se explicara acerca de las entradas y salidas con que se cuentan en las placas arduino.

4.4 Entradas y Salidas

Poniendo de ejemplo al módulo Diecimila, éste consta de 14 entradas digitales configurables como entradas y/o salidas que operan a 5 voltios. Cada contacto puede proporcionar o recibir como máximo 40 mA. Los contactos 3, 5, 6, 9, 10 y 11 pueden proporcionar una salida PWM (Pulse Width Modulation). Si se conecta cualquier cosa a los contactos 0 y 1, eso interferirá con la comunicación USB. Diecimila también tiene 6 entradas analógicas que proporcionan una resolución de 10 bits. Por defecto, aceptan de 0 hasta 5 voltios, aunque es posible cambiar el nivel más alto, utilizando el contacto Aref y algún código de bajo nivel.

De la misma forma es necesario conocer el lenguaje de programación que se utiliza en las placas arduino.

4.5 Lenguaje de Programación de Arduino

La plataforma Arduino se programa mediante el uso de un lenguaje propio basado en el lenguaje de programación de alto nivel Processing que es similar a C++.

Así mismo, es importante conocer los diferentes software con los que se puede crear una interface para las placas arduino.

4.6 Interface de Tarjetas Arduino con otro software

Es posible comunicar una aplicación que corra sobre Arduino con otros dispositivos que corran otros lenguajes de programación y aplicaciones populares, debido a que Arduino usa la transmisión serial de datos, la cual es soportada por la mayoría de los lenguajes que se mencionan a continuación. Y para los que no soportan el formato serie de forma nativa, es posible utilizar software intermediario que traduzca los mensajes enviados por ambas partes para permitir una comunicación fluida. Algunos ejemplos de lenguajes son:

- 3DVIA Virtools: aplicaciones interactivas y de tiempo real.
- Adobe Director
- BlitzMax (con acceso restringido)
- C
- C++ (mediante libSerial o en Windows)
- C#
- Cocoa/Objective-C (para Mac OS X)
- Flash (mediante ActionScript)
- Gambas
- Java
- Liberlab (software de medición y experimentación)
- Mathematica
- Matlab

De la misma forma, existen muchos otros programas con los que se puede generar una interfaz. Ahora que ya se conoce un poco sobre las superficies extendidas, así como los parámetros y ecuaciones de transferencia de calor que lo rigen. Se procederá al diseño de cada uno de los elementos que formaran el equipo que se pretende diseñar. Pero antes se explicará las funciones de Bessel utilizadas para el análisis de aletas.

5.0 Función de Bessel

Las funciones de Bessel, primero definidas por el matemático Daniel Bernoulli y más tarde generalizadas por Friedrich Bessel, son soluciones canónicas $y(x)$ de la ecuación diferencial de Bessel:

$$x^2 \frac{d^2 y}{dx^2} + x \frac{dy}{dx} + (x^2 - \alpha^2)y = 0$$

Ecuación 34. Diferencial de Bessel.

Donde α es un número real o complejo. El caso más común es cuando α es un entero n , aunque la solución para α no enteros es similar. El número α se denomina orden de las funciones de Bessel asociadas a dicha ecuación.

Dado que la ecuación anterior es una ecuación diferencial de segundo orden, tiene dos soluciones linealmente independientes.

Aunque α y $-\alpha$ dan como resultado la misma función, es conveniente definir diferentes funciones de Bessel para estos dos parámetros, pues las funciones de Bessel en función del parámetro α son funciones suaves.

Las funciones de Bessel se denominan también funciones cilíndricas, o armónicos cilíndricos porque son solución de la ecuación de Laplace en coordenadas cilíndricas.

5.1 Aplicaciones de Ecuación de Bessel

La Ecuación de Bessel aparece cuando se buscan soluciones a la ecuación de Laplace o la ecuación de Helmholtz por el método de separación de variables en coordenadas cilíndricas o esféricas.

Por ello, las funciones de Bessel son especialmente importantes en muchos problemas de propagación de ondas, potenciales estáticos y cualquier otro

problema descrito por las ecuaciones de Helmholtz o Laplace en simetrías cilíndricas o esféricas.

Cuando se resuelven sistemas en coordenadas cilíndricas, se obtienen funciones de Bessel de orden entero ($\alpha = n$) y en problemas resueltos en coordenadas esféricas, se obtienen funciones de Bessel de orden semientero ($\alpha = n + 1/2$), por ejemplo:

- Ondas electromagnéticas en guías de onda cilíndricas.
- Modos transversales electromagnéticos en guías ópticas.
- Conducción del calor en objetos cilíndricos.
- Modos de vibración de una membrana delgada circular (o con forma de anillo).
- Difusión en una red.
- También se usan funciones de Bessel en otro tipo de problemas como en procesamiento de señales.

5.2 Funciones de Bessel Modificadas

Las funciones de Bessel ordinarias son válidas para valores complejos del argumento x , y un caso especialmente importante es aquel con argumento imaginario puro. En este caso, la ecuación de Bessel se transforma en la ecuación de Bessel modificada.

$$x^2 \frac{d^2 y}{dx^2} + x \frac{dy}{dx} - (x^2 - \alpha^2)y = 0$$

Ecuación 35. Diferencial de Bessel modificada.

y sus dos soluciones linealmente independientes son las funciones de Bessel modificadas de primer y segundo tipo: $I_\alpha(x)$ y $K_\alpha(x)$ respectivamente.

5.3 Funciones de Bessel modificadas de primera especie: I_α

Las funciones de Bessel modificadas de primera especie y orden α vienen dadas por:

$$I_\alpha(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k! \Gamma(k+\alpha+1)} \left(\frac{x}{2}\right)^{2k+\alpha}$$

$$= \frac{x^\alpha}{2^\alpha \Gamma(\alpha+1)} \left[1 + \frac{x^2}{2(2\alpha+2)} + \frac{x^4}{2 * 4(2\alpha+2)(2\alpha+4)} + \dots \right]$$

Ecuación 36. Bessel modifica de primera especié.

Están relacionadas con las funciones de Bessel ordinarias mediante la siguiente igualdad:

$$I_\alpha(x) = i^{-\alpha} J_\alpha(ix) = e^{-\alpha \frac{\pi i}{2}} J_\alpha(ix)$$

Ecuación 37. Bessel ordinaria.

.Si $\alpha \notin Z$ entonces $I_\alpha(x)$ y $I_{-\alpha}(x)$ son linealmente independientes, y por tanto dan una solución general de la ecuación de Bessel.

Si $\alpha \notin Z$ entonces $J_{-\alpha}(x)$ no está definida en $x = 0$.

Casos particulares:

$$I_0(x) = 1 + \frac{x^2}{2^2} + \frac{x^4}{2^2 4^2} + \frac{x^6}{2^2 4^2 6^2 \dots}$$

$$I_1(x) = \frac{x}{2} + \frac{x^3}{2^2 4} + \frac{x^5}{2^2 4^2 6} + \frac{x^7}{2^2 4^2 6^2 8 \dots}$$

$$I'_0(x) = \frac{dI_0(x)}{dx} = I_1(x)$$

5.4 Funciones de Bessel modificadas de segunda especie: K_α

Las funciones de Bessel modificadas de segunda especie y orden α se definen a partir de las funciones modificadas de primera especie para órdenes no enteros mediante las siguientes fórmulas:

$$K_\alpha(x) = \frac{\pi I_{-\alpha}(x) - I_\alpha(x)}{2 \sin(\alpha \pi)} \quad \forall \alpha \notin \mathbb{Z}$$

Ecuación 38. Bessel modificada segunda especie.

Para los casos en los que α sea entero ($\alpha = n \in \mathbb{Z}$), tenemos que tomar el límite del orden no entero al entero así:

$$K_n(x) = \lim_{p \rightarrow n} K_p(x) = \lim_{p \rightarrow n} \frac{\pi I_{-p}(x) - I_p(x)}{2 \sin(p\pi)} \quad \forall n \in \mathbb{Z}$$

Además se puede escribir esta función a partir de la función de Hankel de primera especie así:

$$K_\alpha(x) = \frac{\pi}{2} i^{\alpha+1} H_\alpha^{(1)}(ix) = -\frac{\pi}{2} i^{\alpha+1} e^{-i\pi\alpha} H_\alpha^{(2)}(-ix)$$

Existen varias representaciones integrales de estas funciones. La siguiente de $K_\alpha(x)$ es útil para el cálculo del propagador de Feynman en Teoría Cuántica de Campos:

$$K_\alpha(x) = \frac{1}{2e^{-\frac{1}{2}\alpha\pi i} \int_{-\alpha}^{+\alpha} e^{-ix \sinh ht - \alpha t} dt}$$

En el capítulo siguiente se describe el diseño de cada uno de los elementos del banco de aletas extendidas.

6. Diseño del banco de pruebas

6.1 Tipos de superficies extendidas y materiales a usar en el banco de pruebas

Como se ha visto en los capítulos anteriores los perfiles más utilizados para las aletas son longitudinales, radiales o transversales y espinas, con áreas de sección transversal constante. También se sabe que los materiales más usados para la construcción de las aletas son cobre, aluminio, aleaciones de aluminio, aceros y aceros inoxidable.

Tomando en consideración lo antes mencionado, el banco de pruebas se diseña para probar aletas individuales de tipo espina con los perfiles circular y rectangular, y además una aleta tipo cónica. Los materiales para las aletas son aluminio y acero AISI 1020.

6.2 Elementos constructivos

El banco de pruebas se divide en dos secciones como muestra en la figura 20, Calefactor para aletas individuales (derecha), donde se colocarán las aletas individuales y calefactor para conjunto de aletas (izquierda), donde se realizarán pruebas con un conjunto de aletas. A continuación se procede a especificar cada una de ellas.

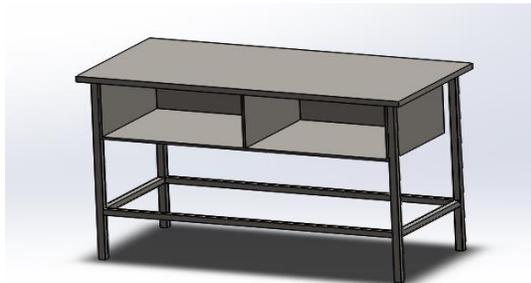


Figura 20. Elementos constructivos del banco de pruebas (fuente propia).

6.2. 1 Calefactor para Aletas Individuales

En la figura 21 se muestran la geometría para el calefactor de aletas individuales del banco de pruebas. En esta sección se tiene un recinto que se calienta por medio de resistencias eléctricas, aplicando de esta forma calor a la base de la aleta. Las aletas son intercambiables para cada uno de los perfiles mostrados en las figuras 22, 23, y 24.

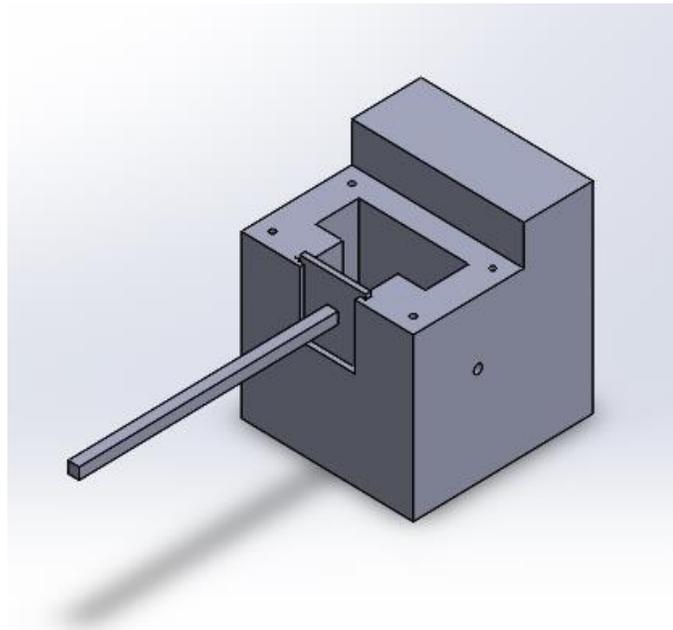


Figura 21. Sección de calefactor de aletas individuales del banco de pruebas y las aletas intercambiables (fuente propia).

La geometría del recinto calefactor, se puede encontrar en los planos al final del documento, en la primera cámara del recinto se colocará la resistencia térmica que producirá el calor, la segunda cámara se utilizara con el aire confinado como aislante del recinto para evitar el deceso de temperatura. A continuación se especifica las medidas de las aletas cilíndrica, cónica y rectangular individuales.

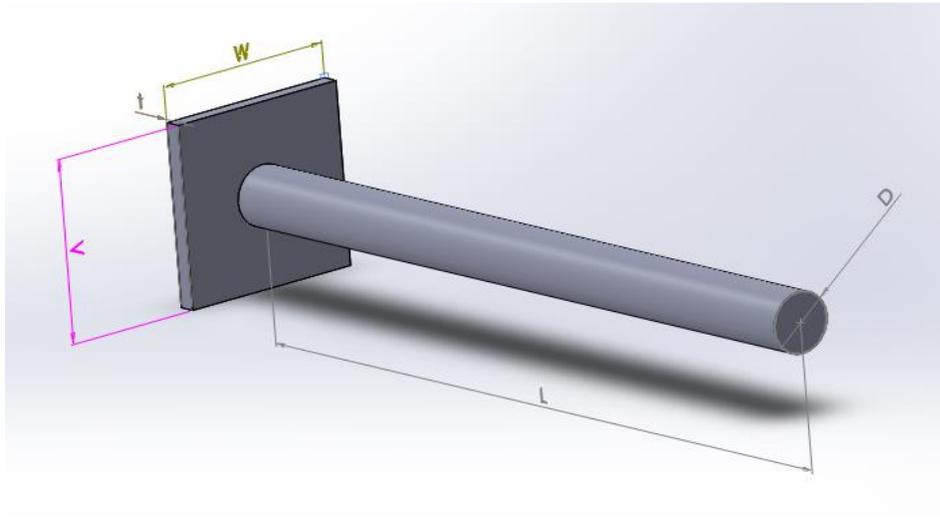


Figura 22. Geometría de aleta cilíndrica (fuente propia).

Para la aleta circular se tienen las dimensiones representadas en la figura 22, las cuales se trabajarán en milímetros pero se hará una comparación en pulgada para tener una mejor idea del tamaño.

$$t = 1/4\text{in} = 0.00635\text{m}$$

$$W = V = 3\text{in} = 0.0762\text{m}$$

$$D = 1\text{in} = 0.0254\text{m}$$

$$L = 0.3$$

Para los siguientes esquemas de aletas muestran las cotas respectivas, manteniendo el espesor de la base que es de 6.35 mm y las dimensiones de ancho y largo. Además se mantiene la longitud de cada aleta.

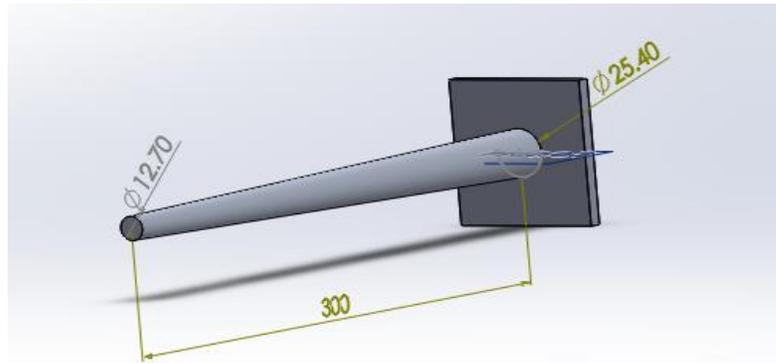


Figura 23. Geometría de aleta cónica (fuente propia).

En la figura 23, se especifica las medidas en milímetros de la aleta cónica, con ángulo $\gamma = 2.42^\circ$, medido desde la horizontal de la aleta, para definir la punta.

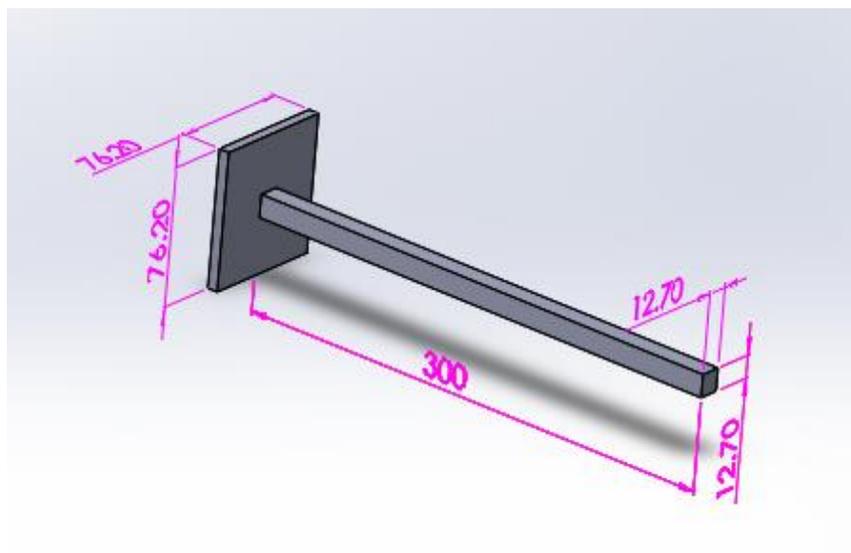


Figura 24. Geometría de aleta rectangular (fuente propia).

En la figura 24, se especifican las dimensiones en milímetros del perfil rectangular de la aleta ancho 12.7mm y altura de 12.7mm.

Para el caso de las aletas de sección circular y rectangular, la longitud establecida en esta sección, debe compararse con la longitud infinita de estas bajo las condiciones impuestas para los requerimientos de potencia.

6.2.2 Calefactor para Conjunto de Aletas

Básicamente es igual al calefactor de aletas individuales, la diferencia entre estas es que para el calefactor de aletas en conjunto las pruebas se hacen no para aletas individuales, sino para un conjunto de aletas. En la figura 25 se muestran los detalles el recinto calefactor y en las figuras 26, 27 y 28 las geometrías para los conjuntos de aletas.

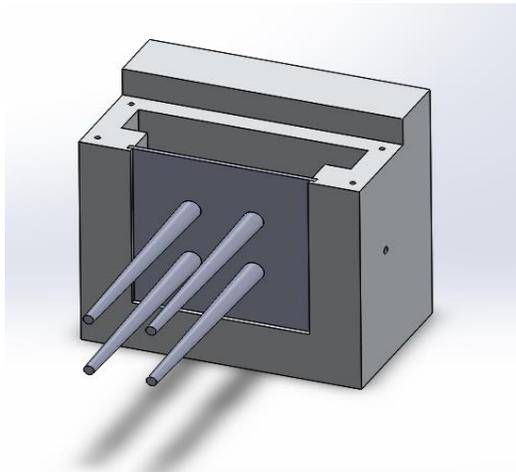


Figura 25. Sección del calefactor para conjunto de aletas del banco de pruebas y conjunto de aletas intercambiables (fuente propia).

En los planos que se encuentran en los anexos al final del documento se pueden observar las dimensiones de dicho recinto, la figura muestra dos cámaras, la primera cerca de la base de la aleta es donde se colocará la resistencia térmica y la segunda cámara se utilizará como una aislante con aire confinado para evitar el deceso de temperatura. A continuación se especifican algunas medidas de los diferentes conjuntos de aletas, cilíndricas, rectangulares y cónicas.

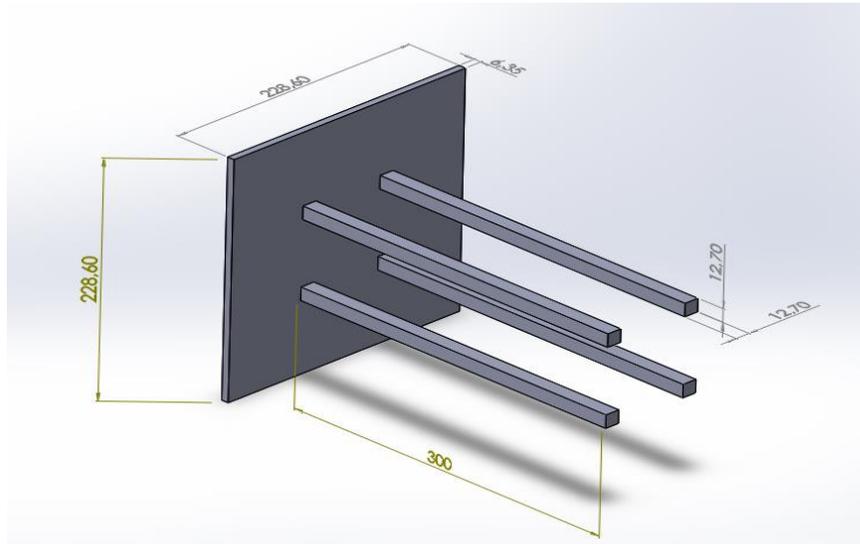


Figura 26. Geometría de conjunto de aletas rectangulares (fuente propia).

En la figura 26, se muestra el conjunto de aletas rectangulares que están ubicadas en la placa de manera equidistante una de la otra, en una base que es una lámina con un espesor de 6.35mm, cada una de los perfiles rectangulares tienen la misma dimensión (cotas en milímetros) que las utilizadas en las aletas individuales antes mencionadas.

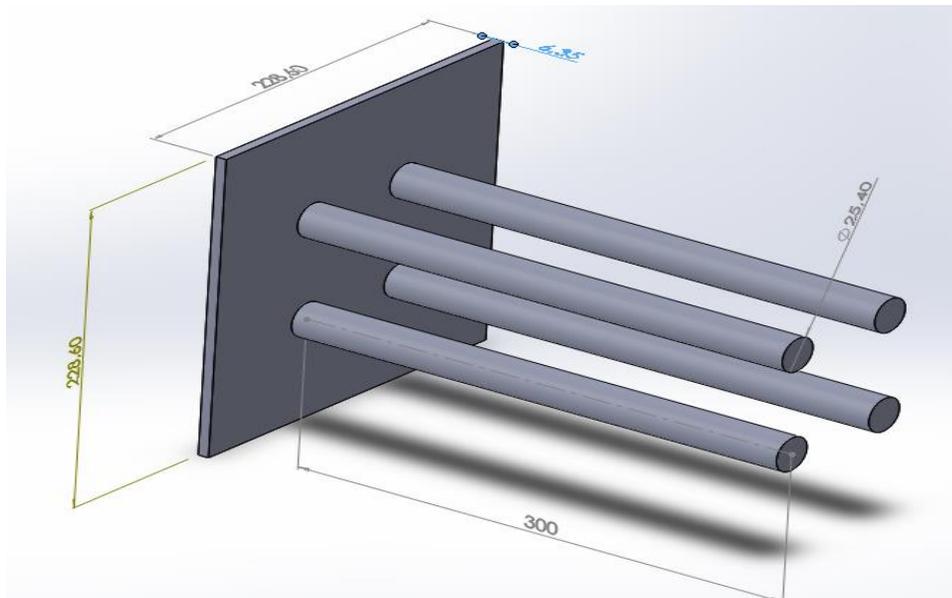


Figura 27. Geometría de conjunto de aletas cilíndricas (fuente propia).

Se procede a encontrar los requerimientos de potencia para el banco de prueba, bajo las condiciones siguientes (ver figura 29).

$$T_3 = 250\text{ }^\circ\text{C} = 523\text{K}$$

$$T_\infty = T_a = 27\text{ }^\circ\text{C} = 300\text{K}$$

Donde T_3 es la temperatura máxima para el banco de pruebas, esta podrá variarse desde T_∞ hasta $250\text{ }^\circ\text{C}$.

En la parte siguiente se procede a determinar el coeficiente de convección natural de la placa base.

6.3.1 Coeficiente de convección natural de la placa base

El coeficiente de convección natural del ambiente se calcula para una placa vertical con altura $H = 3\text{ in} = 0.0762\text{m}$ a temperatura superficial $T_3 = 250\text{ }^\circ\text{C} = 523\text{K}$. Se procede a encontrar las propiedades del aire para la temperatura media en la tabla B-1 que se encuentra en el apéndice B de los anexos:

$$T_{prom} = \frac{T_3 + T_\infty}{2} = \frac{523 + 300}{2} = 411.5\text{K}$$

Con una gravedad de: $g = 9.8\text{m/s}^2$ se obtiene:

$$\beta = \frac{1}{T_{prom}} = 2.43 \times 10^{-3}\text{K}^{-3}$$

Viscosidad cinemática:

$$\nu = 27.79 \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$$

Coeficiente de expansión volumétrica:

$$\alpha = 40.35 \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$$

$$k_0 = 34.61 \times 10^{-3}\text{m}^2/\text{s}$$

Numero de Prandtl

$$p_r = 0.689$$

El número de Rayleigh es necesario para determinar el coeficiente de convección, se utiliza la ecuación 39.

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_3 - T_\infty)H^3}{\nu\alpha}$$

Ecuación 39. Número de Rayleigh

$$Ra_L = \frac{(9.8m^2/s)(2.43 \times 10^{-3}K^{-3})(523 - 300)(0.0762)^3}{(27.79 \times 10^{-6}m^2/s)(40.35 \times 10^{-6}m^2/s)}$$

$$Ra_L = 2.1 \times 10^6$$

Como $Ra_L \leq 10^9$ se usa la expresión para el número de Nusselt de una placa vertical, según el libro de Fundamentos de Transferencia de Calor, Frank P. Incropera, definida así:

$$\overline{Nu}_L = 0.68 + \frac{0.670Ra_L^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0.942}{Pr}\right)^{4/9}\right]}$$

Ecuación 40. Número de Nusselt para $Ra_L \leq 10^9$ según Frank P. Incropera.

$$\overline{Nu}_L = 0.68 + \frac{0.670(2.1 \times 10^6)^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{0.689}\right)^{9/16}\right]}$$

$$\overline{Nu}_L = 20.18$$

Luego, como Nusselt para geometrías comunes inmersa en flujo externo se tiene:

$$\overline{Nu}_L = \frac{hH}{k_0}$$

Ecuación 41. Relación de Nusselt para geometrías comunes inmersas.

Despejando la constante de convección:

$$h = \left(\frac{\frac{34.61 \times 10^{-3} \text{ W}}{\text{mK}}}{0.0762 \text{ m}} \right) 20.18$$

$$h = 9.17 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Con el coeficiente de convección se calcula la potencia requerida para el uso de la aleta de sección circular, que se especifica en el siguiente apartado.

6.3.2 Requerimiento de potencia para el uso de la aleta de sección circular

Para poder tratar la aleta bajo la suposición de extremo adiabático debe encontrarse la longitud infinita de la aleta, es decir aquella que cumpla la condición $L_{inf} \geq 4.6 \sqrt{\frac{kA}{hP}}$ donde A es el área de la sección transversal, P el perímetro de ésta y $k = 239.48 \text{ W/mK}$ es la conductividad térmica del aluminio a la $T_{prom} = 411.5 \text{ K}$.

Se tiene $A = 5.07 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ y $P = 0.08 \text{ m}$.

$$L_{inf} = 4.6 \sqrt{\frac{(239.48 \text{ W/mK})(5.07 \times 10^{-4} \text{ m}^2)}{(9.17 \text{ W/m}^2 \text{ K})(0.08 \text{ m})}}$$

$$L_{inf} = 1.87 \text{ m}$$

Por razones de espacio y manipulación de la misma, no es posible trabajar bajo estas suposiciones, por lo que se usa el caso donde la aleta presenta transferencia de calor por convección desde el extremo y no se modifica el largo $L = 0.3 \text{ m}$ establecido en la sección 6.2.

Se tiene la expresión:

$$\dot{Q}_f = \dot{Q}_b = \sqrt{hPkA}(T_3 - T_\infty) \frac{\sinh(mL) + \frac{h}{mk} \cosh(mL)}{\cosh(mL) + \frac{h}{mk} \sinh(mL)}$$

De las condiciones previas se encuentra $m = \sqrt{\frac{hP}{kA}} = 2.46m^{-1}$, $mL = 0.739$ y $\frac{h}{mk} = 0.0156$, por lo que se encuentra $Q_f = 42.48W$

La placa base se mantiene a $T_3 = 250^\circ C = 523 K$ por lo que también existe una transferencia de calor por convección y radiación desde esta hacia el medio. Despreciando la transferencia de calor por radiación, se procede a encontrar la potencia que se requiere para mantener las condiciones en la placa base.

El calor disipado por convección desde la placa base desnuda es:

$$Q_p = hA_p(T_3 - T_\infty)$$

Con $A_p = HW - \pi/4d^2$ se tiene $A_p = 5.29 \times 10^{-3} m^2$

Luego se sustituye en la ecuación de calor disipado y se obtiene ese valor:

$$Q_p = (9.17W/m^2K)(5.29 \times 10^{-3} m^2)(523 - 300)$$

$$Q_p = 10.38 W$$

Por lo que para el conjunto placa base – aleta el rendimiento de potencia para mantener las condiciones planteadas, es:

$$Q_T = Q_p + Q_f$$

$$Q_T = 53.11 W$$

Encontrado el calor total para aleta circular, se calcular para la aleta rectangular siguiendo los mismos parámetros, en la siguiente sección

6.3.3 Requerimiento de potencia para el uso de la aleta de sección rectangular

Se procede a encontrar $L_{inf} \geq 4.6 \sqrt{\frac{kA}{hP}}$ donde A es el área de la sección transversal, P el perímetro de ésta y $k = \frac{239.48W}{mK}$ es la conductividad térmica

mica del aluminio a la $T_{prom} = 411.5K$. Con las expresiones $A = ab$ y $P = 2(a + b)$, realizando los cálculos se tiene $A = 50.8 \times 10^{-3} m^2$ y $P = 0.1016 m$

$$L_{inf} \geq 4.6 \sqrt{\frac{(239.48 W/mK)(50.8 \times 10^{-3} m^2)}{(9.17 W/m^2K)(0.1016 m)}}$$

$$L_{inf} \geq 3.61 m$$

Debido al resultado para L_{inf} , se usa el caso donde la aleta presenta transferencia de calor por convección desde el extremo y no se modifica el lago $L = 0.3 m$ establecido en la sección 6.2.

Se tiene:

$$\dot{Q}_f = \dot{Q}_b = \sqrt{hPkA}(T_3 - T_\infty) \frac{\sinh(mL) + \frac{h}{mk} \cosh(mL)}{\cosh(mL) + \frac{h}{mk} \sinh(mL)}$$

De las condiciones previas se encuentra $m = \sqrt{\frac{hP}{kA}} = 0.277 m^{-1}$, $mL = 0.083$ y

$$\frac{h}{mk} = 0.138$$

Por lo que se encuentra que:

$$Q_f = 30.66 W$$

La placa base se mantiene a $T_3 = 250^\circ C = 523 K$ por lo que también existe una transferencia de calor por convección. El calor disipado por convección desde la placa base desnuda es: $Q_p = hA_p(T_3 - T_\infty)$

Donde $A_p = HW - ab$ y se encuentra que $A_p = 5.6 \times 10^{-3} m^2$

Luego se calcula el valor en base a la ecuación:

$$Q_p = (9.17W/m^2K)(5.6 \times 10^{-3}m^2)(523 - 300)$$

$$Q_p = 11.38 W$$

Para el conjunto placa base – aleta el requerimiento de potencia para mantener las condiciones, es:

$$Q_T = Q_p + Q_f$$

$$Q_T = 42.04 W$$

6.3.4 Requerimiento de potencia para uso de la aleta cónica

Para este tipo de aleta., se tiene:

$$Q_f = \pi kMR^2 L_c^{-1/2} (T_3 - T_\infty) \frac{I_2(2ML_c^{-1/2})}{I_1(2ML_c^{-1/2})}$$

Ecuación 42. Transferencia de calor para una aleta cónica

Donde I_1 y I_2 son funciones de Bessel modificadas de primero y segundo orden, $L_c = 0.030 m$ longitud de la aleta.

Para $M = \sqrt{\frac{2L_c h}{kR}}$ resulta que $M = 1.34 m^{-1}$ y $2ML_c^{-1/2} = 1.473$.

Se tiene entonces: $I_2(1.473) = 0.3237$ e $I_1(1.437) = 0.9552$

Y se encuentra que: $Q_f = 22.51 W$

El calor disipado por convección desde la placa base desnuda es:

$$Q_p = hA_p(T_3 - T_\infty)$$

Con $A_p = HW - \frac{\pi}{4}d^2$, se tiene $A_p = 5.3 \times 10^{-3}m^2$

Luego: $Q_p = (9.17W/m^2K)(5.3 \times 10^{-3}m^2)(523 - 300)$

$$Q_p = 10.83 W$$

Para el conjunto placa base – aleta la potencia disipada, es:

$$Q_T = Q_p + Q_f$$

$$Q_T = 34.34 \text{ W}$$

6.3.5 Requerimiento de potencia en la cámara de resistencias

La condición más crítica es cuando se usa la aleta cilíndrica, donde se requiere una potencia $Q_T = 53.11 \text{ W}$. Se procede a encontrar la T_2 por medio de la expresión: $Q_T = \frac{kA_p}{t}(T_2 - T_3)$

Despejando $T_2 = \frac{tQ_T}{kA_p} + T_3$ y sustituyendo datos, donde $A_p = 5.29 \times 10^{-3} \text{ m}^2$, $t = 6.35 \times 10^{-3} \text{ m}$ que es el espesor de la placa base, $k = 239.48 \text{ W/mK}$ y $T_3 = 523 \text{ K}$, se tiene:

$$T_2 = \frac{(6.35 \times 10^{-3} \text{ m})(53.11 \text{ W})}{(239.48 \text{ W/mK})(5.29 \times 10^{-3} \text{ m}^2)} + 523 \text{ K} = 523.24 \text{ K} = 250.24^\circ\text{C}$$

Esta es la temperatura del aire y de las paredes dentro del recinto.

De la figura 29 se ve que se justifica la relación siguiente:

$$Q = Q_T \frac{A_2}{A_p}$$

$$Q = 53.11 \text{ W} \frac{(0.127 \text{ m})(0.1016 \text{ m})}{5.3 \times 10^{-3} \text{ m}^2}$$

$$Q = 118.02 \text{ W}$$

Donde Q es el calor total transferido a toda la pared interna de la cámara (llamada pared 2), donde se une la base de la aleta, desde la pared donde se encuentra la resistencia eléctrica (pared 1).

Realizando un balance de energía para la pared 2, se tiene:

$$Q = h_1 A_2 (T_1 - T_2) + A_1 F_{12} \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

Ecuación 43. Balance de energía para cámara de resistencias de aletas individuales.

Dónde:

h_1 Es el coeficiente de convección dentro del recinto.

$A_1 = A_2$ Es el área de la pared 1 y 2

F_{12} Es el factor de forma para el intercambio de energía por radiación entre la pared 1 y 2.

σ Constante de Stefan-boltzmann

Usando el grafico del anexo A-1 del apéndice A se encuentra que $F_{12} = 0.5$

Sustituyendo todos los valores conocidos en la ecuación 44 y despejando se tiene:

$$h_1 = \frac{118.02 - 3.65 \times 10^{-10} (T_1^4 - 523.24^4)}{0.129 (T_1 - 523.24)}$$

Ecuación 44. Constante de convección del recinto, según balance de energía.

Para conocer las propiedades del recinto, se supone que la diferencia de temperaturas es $T_1 > T_2$ en las paredes verticales opuestas, separadas por un fluido y las paredes restantes se aíslan de los alrededores. El calor atreves de la cavidad depende la razón de orientación V/E , donde V es la altura del recinto y E es el espesor. La transferencia de calor de la superficie inferior a la superior ocurre exclusivamente por conducción, como las condiciones corresponde a conducción unidimensional a través de una capa fluida plana, el coeficiente convectivo es $h = k/E$ y $N_{uL} = 1$.

Para el recinto de aletas individuales el valor de $\frac{V}{E} = \frac{0.1016}{0.05} = 2.286$.

Según Incropera para el análisis de recintos rectangulares se tiene:

$$\overline{N_{uL}} = \frac{h_1 E}{k_1} = 0.22 \left(\frac{P_r}{0.2 + P_r} Ra \right)^{0.28} \left(\frac{V}{E} \right)^{-1/4}$$

Ecuación 45. Numero de Nusselt para recintos rectangulares según Incropera.

Siempre y cuando se cumplan las siguientes desigualdades:

$$2 < \frac{V}{E} < 10, Pr < 10^5, 10^3 < Ra < 10^{10}$$

Con la ecuación de Rayleigh:

$$Ra = \frac{g\beta(T_1 - T_2)V^3}{v\alpha}$$

Ecuación 46. Ecuación de Rayleigh para recintos según Incropera.

Con las ecuaciones anteriores se lleva un proceso iterativo para encontrar el la T_1 y h_1 por medio de la metodología siguiente:

1. Suponer una T_1
2. Encontrar h_1 con la ecuación 44.
3. Encontrar la $T_{promedio}$ y establecer las propiedades del aire dentro de la cámara a esta temperatura.
4. Encontrar h_1 a partir de ecuación 45.
5. Compara los valores de h_1 de los numerales 2 y 4.

Con el código de matlab (ver Código 1 Apéndice C-1) se realiza el proceso, y con se encuentra que $T_1 = 774.95K = 501.95^\circ C$ y $h_1 = 4.17 \frac{W}{m^2K}$

La pared 1 intercambia calor por radiación y convección con la pared 2 y solo por radiación con las paredes 3, 4, 5 y 6. Donde las paredes 3 y 4 son las paredes verticales que separa a 1 de 2 y la pared 5 es la inferior y 6 la superior del recinto. Todas las paredes del recinto a excepción de la pared 1 se encuentra a $T_2 = 523.24 K = 250.24^\circ C$, además por simetría $F_{13} = F_{14}$ Y $F_{15} = F_{16}$ por lo tanto la potencia total que debe entregar la resistencia, es:

$$Q_{Re} = h_1 A_2 (T_1 - T_2) + A_2 F_{12} \sigma (T_1^4 - T_2^4) + 2A_1 F_{13} \sigma (T_1^4 - T_2^4) + 2A_1 F_{15} (T_1^4 - T_2^4)$$

Ecuación 47. Calor del recinto calefactor.

Usando la figura del anexo A-2 se encuentra que $F_{13} = F_{14} = 0.3$ y $F_{15} = F_{16} = 0.31$. Sustituyendo todos los valores en la ecuación 47 se tiene:

$$Q_{Re} = 373.06 \text{ W}$$

Se decide entonces usar una resistencia de 500 W.

6.3.6 Comportamiento transitorio en el banco de pruebas

Debe calcularse el tiempo en el cual el banco de pruebas estará listo para usarse luego de energizarse las resistencias. Al inicio el sistema se encuentra a temperatura ambiente $T_{\infty} = 27^{\circ}\text{C}$ incluso el aire dentro del recinto de resistencias.

6.3.5.1 Recinto

El calor necesario para calentar el aire del recinto se encuentra por medio de la expresión:

$$q = mC_p(T_2 - T_{\infty}) = \rho_c V_c C_p (T_2 - T_{\infty})$$

Ecuación 48. Calor necesario en el recinto a presión y volumen constante.

Dónde:

m es la masa del aire

C_p : la capacidad calorífica del aire a la temperatura promedio

ρ_c : densidad del aire a la temperatura promedio

V_c : volumen del aire dentro del recinto

La temperatura promedio para este caso, se determina de la temperatura ambiente y a la que se pretende alcanzar en el recinto:

$$T_{\infty} = \frac{250.24 + 27}{2} = 138.62^{\circ}\text{C}$$

Dónde:

$$\rho_c = 0.8497 \text{ kg/m}^3$$

$$C_p = 1.0155 \text{ kJ/kgK}$$

$$V_c = UVE = \text{ancho} \times \text{alto} \times \text{longitud} = (0.127\text{m})(0.1016\text{m})(0.05\text{m})$$

$$V_c = 6.45 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$q = (0.8497 \text{ kg/m}^3)(1.0155 \text{ kJ/kgK})(6.45 \times 10^{-4} \text{ m}^3)(250.24^\circ\text{C} - 27^\circ\text{C})$$

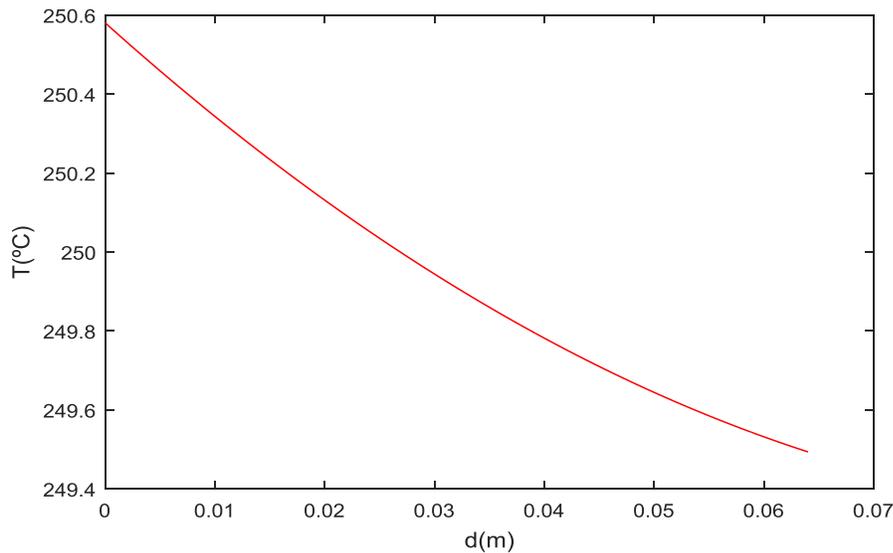
$$q = 0.124 \text{ kJ}$$

Por lo que el tiempo teórico para calentar todo el aire dentro del recinto, es:

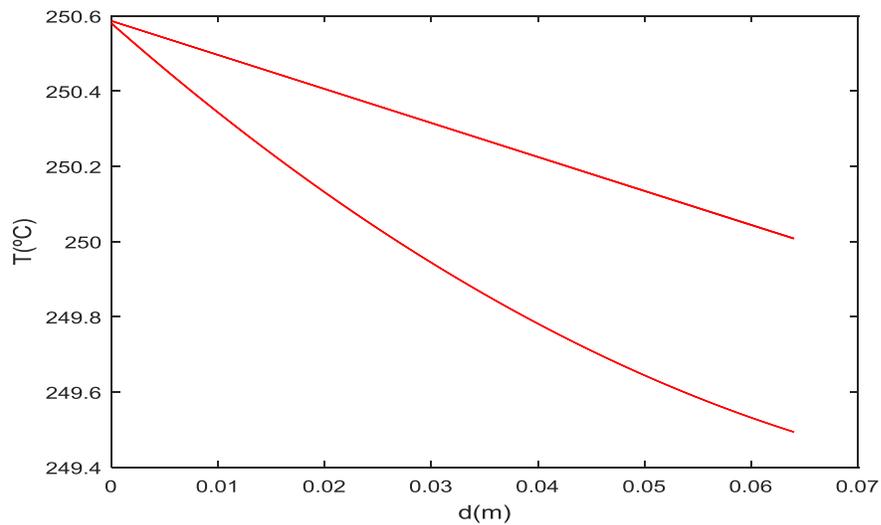
$$\tau = \frac{124 \text{ J}}{500 \text{ W}} = 0.25 \text{ s}$$

6.3.5.2 Placa base

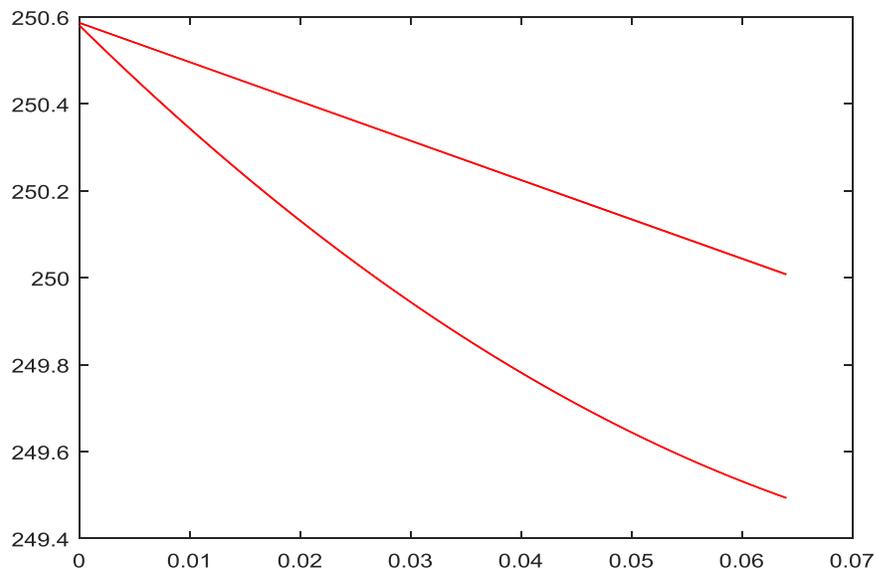
Para el comportamiento transitorio del flujo de calor a través de la placa base se hace uso de la técnica de diferencias finitas (ver Código 2 en Apéndice C), con un mallado unidimensional donde $\Delta x = 4 \times 10^{-4} \text{ m}$ y usando $\Delta \tau = 10 \text{ s}$. Al usar el código Matlab se obtienen los siguientes resultados:



Gráfica 1. Iteración 1 para la pared por diferencias finitas (Fuente propia)



Gráfica 2. Iteración 2 para la pared por diferencias finitas (Fuente propia)

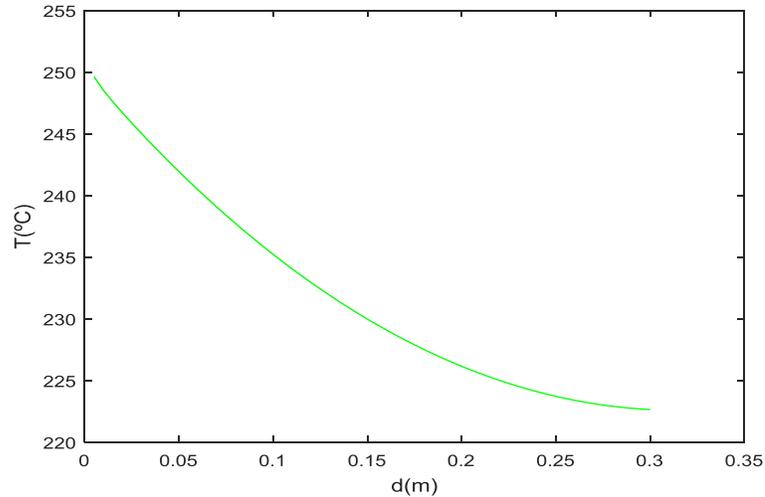


Gráfica 3. Iteración 1 para la pared por diferencias finitas (Fuente propia)

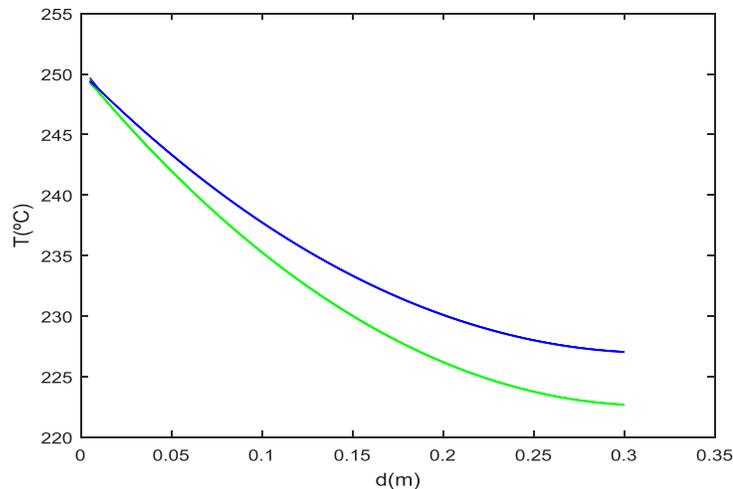
El grafica 3 se puede verse como las condiciones se estabilizan para la tercera iteración. Por lo tanto se tiene que el tiempo total necesario para lograr condiciones estables de manera teórica es de: $\tau_2 = 3(\Delta\tau) = 30 s$

6.3.5.3 Aleta

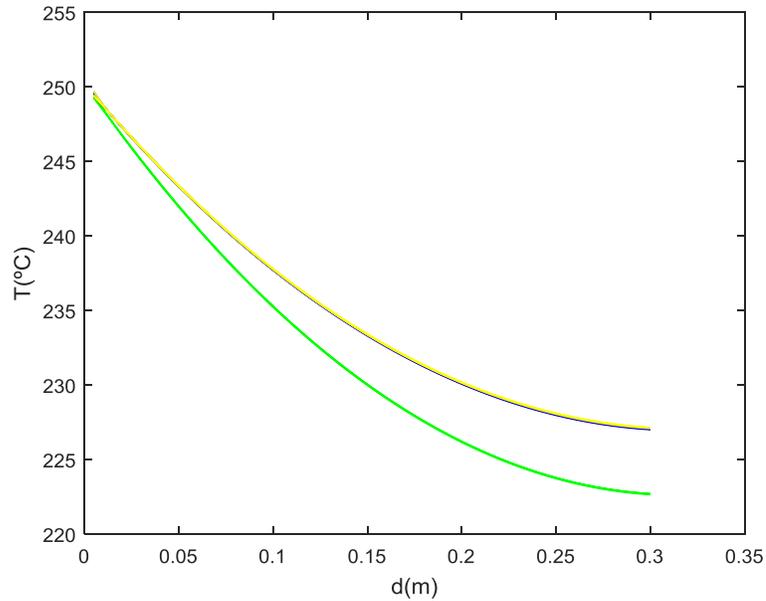
De manera similar como se ha hecho para las condiciones transitorias en la placa base, se hace uso de las diferencias finitas, con un mallado bidimensional (ver Código 3 en Apéndice C) donde $\Delta x = 5 \times 10^{-3} m$ y usando $\Delta \tau = 20 s$. Con el código Matlab se obtienen los siguientes resultados:



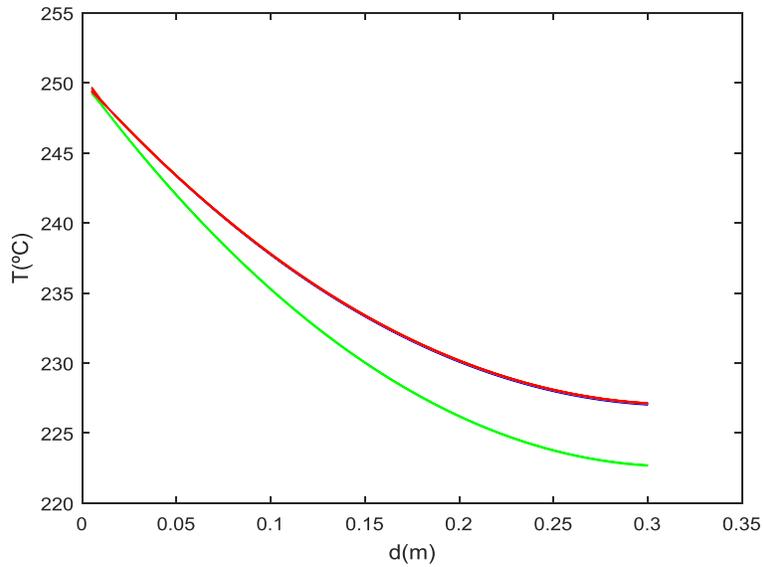
Gráfica 4. Iteración 1 para la aleta por diferencias finitas (Fuente propia)



Gráfica 5. Iteración 2 (línea azul) para la aleta por diferencias finitas (Fuente propia)



Gráfica 6. Iteración 3 (línea amarilla) para la aleta por diferencias finitas (Fuente propia)



Gráfica 7. Iteración 4 (línea roja) para la aleta por diferencias finitas (Fuente propia)

En la gráfica 5 y 6 puede verse como las condiciones se estabilizan para la cuarta iteración. Por lo tanto se tiene que el tiempo total necesario para lograr condiciones estables teóricas es de $\tau_3 = 4(\Delta\tau) = 80 \text{ s}$

Entonces se tiene que el tiempo total necesario para que logren condiciones estables teóricas es 110.25 s (1 min 50.25 s). Se recomienda que se espere 15 minutos para realizar mediciones en el banco de pruebas.

6.3.7 Aislamiento en los recintos calefactores

El material aislante a usar es porcelana para cerámica el cual tiene una conductividad térmica de $k_a = 0.137 \text{ W/mK}$.

Todas las paredes, a excepción de la 1, se encuentran a la temperatura T_2 internamente y se desea que la temperatura en el exterior no exceda de 30°C y además que no haya una pérdida de calor de más de 5 W por cada pared.

Los espesores requeridos, son:

Para la pared 1 se tiene: $\Delta e_1 = 176.7 \text{ cm}$

Para la pared 2 se tiene: $\Delta e_2 = 7.8 \text{ cm}$

Para la pared 3 y 4 se tiene: $\Delta e_{34} = 3.1 \text{ cm}$

Para la pared 5 y 6 se tiene: $\Delta e_{56} = 3.9 \text{ cm}$

Para la pared 1 y 2 se considera que el espesor necesario requiere demasiado cemento, por lo que se decide modificar las geometrías de estas, usando el aire de las cavidades y geometrías mostradas en la figura 30 como aislante térmico.

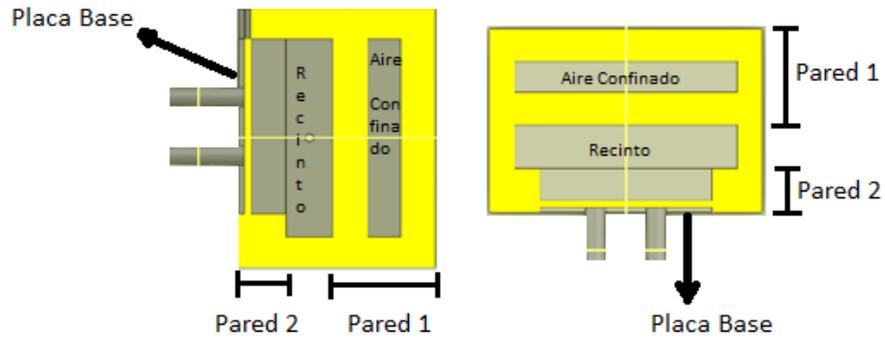


Figura 30. Espesores de pared 1 y 2 en cm. Corte transversal y en planta (Fuente propia)

En la figura 31 se muestra la forma final de la sección A y varios cortes de la misma.

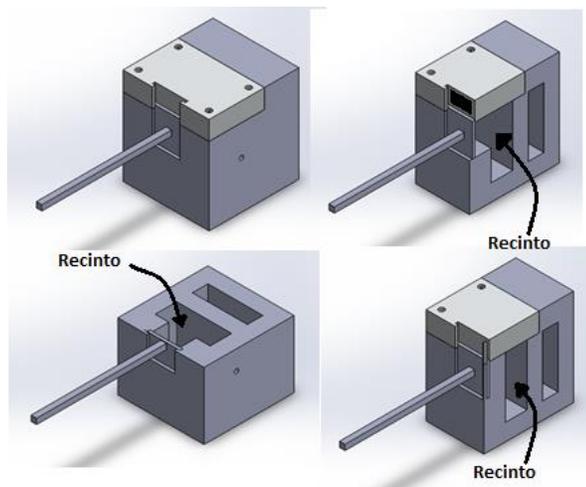


Figura 31. Forma final del calefactor para aletas individuales (Fuente propia)

6.4 Requerimientos de potencia para el Calefactor de conjunto de aletas para banco de pruebas

Para esta sección siempre el valor crítico es para el uso de las aletas circulares que es de 500 W, debido que en este horno se utilizaran conjunto de aletas, con

cuatro perfiles iguales. El calor total requerido se logra mediante una resistencia de 2000 W

6.4.1 Comportamiento transitorio en el banco de pruebas

Al inicio todo el sistema se encuentra a temperatura ambiente $T_{\infty} = 27^{\circ}\text{C}$ incluso el aire dentro del recinto de resistencias.

6.4.1.1 Recinto

El calor necesario para calentar el aire del recinto se encuentra por medio de la expresión de la ecuación 48 donde solo varía el volumen del aire:

$$V_c = FGJ = (0.2794\text{m})(0.2586\text{m})(0.05\text{m}) = 3.61 \times 10^{-3} \text{m}^3$$

Dónde:

V_c Volumen del recinto calefactor

F Ancho del horno

G Alto del horno

J Longitud del horno

$$q = (0.8497 \text{ kg/m}^3)(1.0155 \text{ kJ/kgK})(3.61 \times 10^{-3} \text{ m}^3)(250.24^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C})$$

$$q = 732.4 \text{ J}$$

Por lo que el tiempo para calentar todo el aire dentro del recinto de forma ideal es:

$$\tau_1 = \frac{732.4 \text{ J}}{2000 \text{ W}} = 0.38 \text{ s}$$

Ahora se procede a calcular el tiempo que tarda la palca base en llegar a la temperatura a cual trabajara el horno.

6.4.1.2 Placa base

Para el comportamiento transitorio del flujo de calor a través de la placa base de calefactor para aletas en conjunto también se hace uso de la técnica de

diferencias finitas, con una malla adimensional donde $\Delta x = 4 \times 10^{-4} m$ y usando $\Delta \tau = 10 s$. Utilizando el mismo código de la sección 6.3.1.2.

En la gráfica 7 puede verse como las condiciones se estabilizan en la cuarta iteración. Por lo tanto se tiene que el tiempo total necesario para lograr condiciones estables es de $\tau_2 = 4 * \Delta \tau = 40 s$.

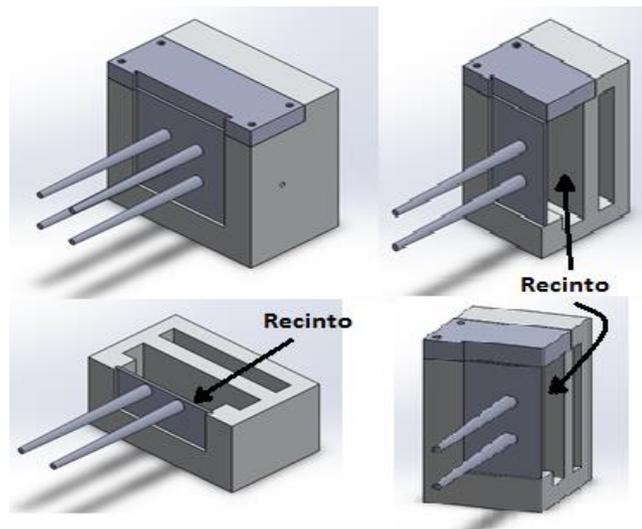
6.4.1.3 Aleta

De manera similar, se hace uso de las diferencias finitas, con mallado bidimensional donde $\Delta x = 5 \times 10^{-3} m$ y usando $\Delta \tau = 20 s$.

En la gráfica 7 puede verse como las condiciones se estabilizan para la cuarta iteración. Por lo tanto se tiene que el tiempo total necesario para lograr condiciones estables es de $\tau_3 = 4 * \Delta \tau = 80 s$.

6.4.2 Aislamiento

Para esta sección se hace igual que para el calefactor de aletas individuales y se usan los mismos espesores de pared al mantenerse las mismas condiciones en ambos recintos de estas. La geometría final se muestra en la figura 32.



**Figura 32. Forma final y cortes de calefactor para conjunto de aletas
(Fuente propia)**

6.5.1 Control de Temperatura

Tanto para el calefactor de aletas individuales y el de aletas de conjunto, representan los dos hornos respectivamente se necesitan controles de temperatura para la regulación de salida de potencia de las resistencias eléctricas. Se escoge para el calefactor de aletas de conjunto un control de temperatura marca Tecnologic seria TLK-48 de una salida a la cual se le adapta un termistor tipo K, debido a que en el mercado no se encontró dos controladores de marca antes mencionada en el calefactor para aletas individuales se utilizara un controlador marca MIC 1161, al cual se adapta una termocupla tipo K.

6.5.2 Medición de Temperatura

La medición de temperatura en aletas se realizará mediante un sensor de temperatura, que estima la temperatura de una superficie en función de la luz infrarroja emitida por la misma, esto le permite medir superficies con temperatura desde hasta 300 ° centígrados. En base a la disponibilidad en el país, se escoge el tipo MLX906 que se puede ver su forma en la figura 33.



Figura 33. Sensor infrarrojo MLX90614 (Fuente propia).

A continuación se presentan la descripción y característica del sensor MLX90614 obtenidas de la data sheet del dispositivo.

Descripción: El sensor Melexis MLX90614ESF-BAA es un termómetro infrarrojo, apto para medir temperaturas de objetivo en el rango de -70°C a +382°C, con salida digital de 17 bits. El mismo provee dos tipos de salida: PWM para una

resolución de 10 bits (0.14°C) y SMBus (TWI, I2C) para la resolución máxima (0.02°C). El sensor se calibra en fábrica para un rango de temperaturas de cápsula de -40 a $+125^{\circ}\text{C}$. El valor de temperatura entregado es el promedio de la temperatura de los objetos incluidos en el campo de visión del sensor. La exactitud del sensor es de 0.5°C a temperatura ambiente de 25°C . Estos sensores tiene cuatro entadas las cuales son las siguientes:

Vin: voltaje de entrada

GND: tierra

SCL: es el puerto serial para el control del reloj.

SDA: se usa para la transmisión de los datos obtenidos.

Características:

- Pequeño tamaño (TO39), bajo costo
- Fácil de integrar en proyectos con microcontroladores o Arduino
- Calibrado en fábrica en un amplio rango de temperaturas:
- -40 a $+125^{\circ}\text{C}$ para la cápsula del sensor (T_a)
- -70 a $+382^{\circ}\text{C}$ para temperatura del objetivo (T_o)
- Interfaz digital compatible SMBus
- Salida PWM adaptable para lecturas continuas
- Excelente exactitud de 0.5°C para el rango de 0°C a $+50^{\circ}\text{C}$ para T_a y T_o
- Resolución máxima de 0.02°C
- Modo de bajo consumo
- Disponible para aplicaciones de 3 y 5V, fácil de adaptar para fuentes de voltaje en el rango de 6-24V

Es importante mencionar que para poder conectar este sensor con una placa arduino es necesario colocar previamente un circuito de resistencias, pero para nuestra aplicación los sensores ya tienen incorporados las conexiones de dichas resistencias. Por lo tanto en el diseño y construcción del equipo didáctico a construir se utilizaran 12 sensores MLX90614 para la toma de temperaturas,

de los cuales se usaran 6 para aletas individuales y el resto para conjunto de aletas. La conexión y programación de estos dispositivos se verá en detalle en el apartado 7.6.

7. Construcción y Fabricación de Elementos del Equipo

7.1 Construcción mesa del banco de pruebas

La mesa se elabora para el soporte de los hornos calefactores y los demás elementos utilizados en el banco de pruebas, es necesaria una superficie resistente que soporte el peso de todos elementos y además se puede desplazar de un lugar a otro de forma fácil y rápida para su adecuada utilización.

Para la elaboración de la mesa se requieren los siguientes materiales mencionados:

- 7 piezas de tubo cuadrado estructural de una pulgada, chapa #14 de espesor.
- 1 pliego de lámina hierro negro original, espesor de 3/64 de pulgada.
- 4 rodos, material hierro negro, una pulgada de altura.
- 2 libras de electrodo 3/32 de diámetro, 6013.
- 2 pliegos de lija, para hierro, grano # 80.
- 1 cuarto de pintura color.
- 2 botellas de Thinner.

Herramientas utilizadas durante el proceso de construcción:

- Sierra manual para cortar hierro, dentado ordinario.
- Escuadra.
- Extensión eléctrica de 110 voltios.
- Aparato de soldadura eléctrica, 220 voltios.
- Pulidora industrial 110 voltios.

- Cincel y garreta para soldar con vidrio #10.
- Compresor de aire.
- Cinta métrica.

El procedimiento utilizado es el siguiente:

1. Se cortan las piezas de tubo de 1 pulgada, para formar la base de la mesa con una medida de ancho de 0.70 m y lardo de 1.20 m, se aplica soldadura en esquina formando un marco rectangular. Luego se cortan 4 piezas de la misma longitud 0.80 m, que servirán para soportar la base, se coloca cada una a 90° grados de las esquinas del marco antes mencionado, como se puede observar en la figura 1.

2. Luego se procede a cortar piezas 4 piezas de 1.15 m y 0.75 m, respectivamente, que se utilizarán para formar dos marco, se ubicara el primero a una distancia de 0.255 m debajo de la base de la mesa, que servirán para distribuir el espacio y soportar la gavetas del banco. El siguiente marco se ubicara 0.20 m arriba del final de los soportes (patas de la mesa), que servirá para proporcionar mayor fijeza a los soportes, ver figura 34.

3. Se corta dos piezas de 0.255 m de longitud, se ubicara de manera vertical entre la base de la mesa y el soporte de las gavetas, estas piezas nos brinda el ancho de cada gaveta que es 0.56 m, en esa misma distancia se pone una pieza horizontal en el marco de las gavetas, que se utiliza para colocar los rieles donde se moverá la gaveta, todas las piezas se sujetaran por soldadura eléctrica, cordones con la misma longitud de perfil de la pieza y de poca profundidad, aplicada a dos cara de la pieza, ver figura 34.



Figura 34. Elaboración de mesa de banco de pruebas (Fuente propia).

4. Después de tener la estructura de la mesa se procede, a forrarla con lamina 3/64, en la parte superior y tres de los lados. Se corta las tiras de lámina con la longitud correspondiente a cada uno de los lados y la superficie, con la tijera de cortar lamina. Se sujeta con soldadura eléctrica, en las orillas de las tiras de lámina a la estructura, con cordones que están separados una distancia de 0.10 m aproximadamente, que van ubicados alrededor de toda la tira, ver figura 2.
5. Se desbastan los puntos en la lámina con la pulidora, para dar un acabado estético al banco, se procede a pulir la toda la estructura con lija, nos queda como en la figura 35, para después aplicar pintura.



Figura 35. Mesa de Banco después de pulirla (Fuente propia).

6. Se colocan en la base de mesa dos marcos en el centro de la misma, hechos de perfil angular de $\frac{3}{4}$, donde se van ubicar cada uno de los hornos calefactores, para la elaboración de los marcos, se procede a cortar dos piezas de 0.365 m y otras dos de 0.24 m, cortes a 45° grados, se forman el marco sujetando las piezas con soldadura eléctrica, en las esquinas, este marco servirá para el horno de aletas en conjunto, para el horno de aletas individuales se realiza el mismo proceso, utilizando diferentes medidas de 0.24 m y 0.235 m, ver figura 35.
7. Se colocan los rodos en la parte final de los soportes de la mesa con soldadura eléctrica.
8. Se prepara la pintura, aplicando Thinner para disolverla de mejor manera, se aplica la pintura de manera rápida y precisa, dando una acabado como se ve la figura 36.



Figura 36. Pintado de la estructura de mesa de banco (Fuente propia).

7.2 Construcción de gavetas.

Para la elaboración de la gavetas, donde se guardaran las superficies de aletas extendidas se utilizó los siguientes materiales:

- 1 pliego de plywood de espesor de $\frac{1}{4}$ de pulgada.

- 30 pernos de 1/2 de pulgada de largo y 3/16 de pulgada de diámetro.
- Pega para carpintería
- 2 Manijas de hierro forjado.
- 2 Chapas de un pasador sencillas.
- 1 Cuarto de pintura.
- ½ Cuarto de barniz.
- 1 Botella de Thinner.
- Lija para madera.

Herramientas utilizadas para el proceso de construcción son las siguientes:

- Sierra de corte circular eléctrica.
- Desarmadores, martillo, tenaza y brocha.
- Compresor.
- Taladro.
- Pulidora.

Se inicia el proceso de construcción de la siguiente forma:

1. Se cortaron las piezas laterales de plywood, que formarán el largo de la gaveta, con un longitud de 0.61 m y una altura de 0.255 m, utilizando la cortador circular eléctrica, estas piezas se puede observar en la figura 37, se cortaron la pieza de fondo con un ancho de 0.56 m y una altura de 0.255 m.

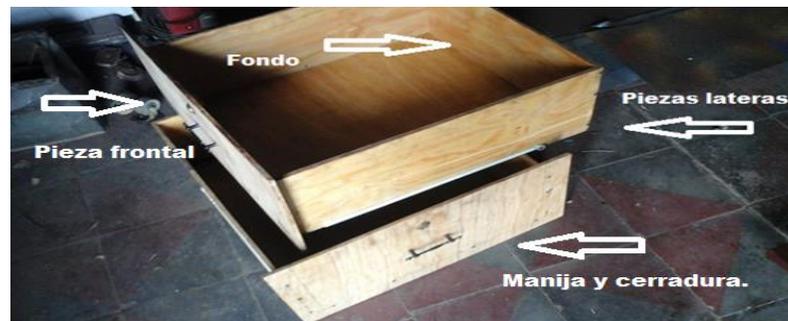


Figura 37. Corte de las piezas de plywood que formaran las gavetas (Fuente propia).

2. Se unieron las piezas, colocando cuatro tornillos en cada una de las esquinas, luego se cortó la pieza que sirve como base, con las siguientes medidas, ancho de 0.56 m y un largo 0.61 m, se unió a las piezas laterales con tornillos por toda la orilla.
3. Se cortó una pieza con una longitud de 0.60 m y un ancho de 0.31 m que servirá como parte frontal de la gaveta, con sobre medida para cubrir los huecos, se acopla al resto de la gaveta con tornillos.
4. En la parte frontal de la gaveta se instaló la manija y la cerradura. Para colocar la manija se midió, la ubicación de los agujeros, utilizando el taladro y una broca para hierro de 1/8 de pulgada se realizaron los dos agujeros, con pernos se sujetó la manija a la parte frontal de la gaveta. Para la colocación de la cerradura se mide la parte central de llavín, con el taladro se realiza el agujero donde se ubicará la cerradura. Se mide la ubicación de los pernos para sujetar la cerradura, se perfora con el taladro y utilizando broca de 1/8 de pulgada, se colocan los pernos, se mide la ubicación del pasador de la cerradura para poder realizar un saque en la pieza de tubo que servirá como receptor de la cerradura. Se realiza el saque utilizando la pulidora con disco de corte para hierro.
5. Luego se lijó las gavetas, para posteriormente aplicarle dos capas de barniz, utilizando una brocha.
6. Después se aplicó una capa de pintura en la parte exterior de las gavetas, utilizando el compresor, quedando con un acabado final como en la figura 38.



Figura 38. Pintado de gavetas (Fuente propia).

7.3 Construcción de calefactor para aletas en conjunto e individuales

Estos elementos se elaborarán para lograr generar el calor necesario con el objetivo de calentar los diferentes tipos de aletas, para ello, se debe confinar el calor en un recinto donde se pueda controlar y aprovecharlo adecuadamente.

Los materiales utilizados para la elaboración de estos se mencionan a continuación:

- 6 bolsas de porcelana para cerámica
- 1 pliego de plywood de ¼ pulgada
- 50 tachuelas de 3 suelas
- 1 libra de alambre de amarre
- 1 varilla de hierro de ¼ de espesor
- 3 cartones de lija numero 100

Las herramientas utilizadas durante el proceso de construcción son:

- 1 sierra eléctrica
- 1 martillo
- 1 cuchara de albañil
- 1 tenaza

- 1 cinta métrica

El procedimiento utilizado es el siguiente:

1. Se cortaron los trozos de plywood en diferentes medidas para los moldes, así como también los trozos de varilla para la elaboración de la armazón a utilizar.
2. A continuación se armó la armazón metálica para los calefactores.
3. Luego se procedió a elaborar los moldes de los calefactores, con los trozos de plywood, para ello se utilizaron las tachuelas y el alambre de amarre.
4. Después se colocó el armazón dentro del molde de plywood.
5. Se prosiguió con la preparación de la mezcla de porcelana y agua para luego depositarlo dentro del molde.
6. Después se siguieron los mismos pasos para la elaboración de las tapaderas de los calefactores.
7. Luego los calefactores y las tapaderas se dejaron reposar durante 15 días para que se endurecieran lo suficiente.
8. En esta paso se colocaron cuatro anclas de tabla roca en los calefactores para poder sujetar las tapaderas
9. Por último se perforaron las tapaderas para sujetarlas a los calefactores.



Figura 39. A la izquierda se muestra el calefactor de aletas de conjunto y a la derecha el calefactor para aletas individuales (Fuente propia).

7.4 Construcción de tapadera para hornos.

Las tapaderas de los hornos son diseñadas para evitar la fuga calor de los mismos y evitar que los usuarios entre en contacto directo con los de cerámica que tiene cierta temperatura.

Para la construcción de las tapaderas se utilizó los siguientes materiales:

- Medio pliego de lámina de hierro negro de 3/64 de pulgada.
- Medio pliego de fibra de vidrio para altas temperaturas con un espesor de 2 pulgadas.
- Electrodo para hierro 6013.
- Lija para hierro # 80.
- Pintura y Thinner.
- Pega zapatos

Herramientas utilizadas para el proceso de construcción:

- Tijera para cortar lamina.
- Aparato de soldadura eléctrica 220 V.
- Pulidora con disco de esmerilar
- Martillo, cincel, tenaza y cinta métrica.
- Compresor

La elaboración de las tapaderas se realiza de la siguiente manera:

1. Se cortó una pieza de lámina con una longitud de 0.925 m y una ancho de 0.26 m utilizando la tijera de cortar lamina, se marca en la pieza antes cortada, trazos a una longitud de 0.26 m y a 0.665 m, medidos desde un extremo donde se realizaran los dobleces, formando una “c”, como se observa en la figura 40, que son la partes laterales y fondo de la tapadera del horno para aletas de conjunto.

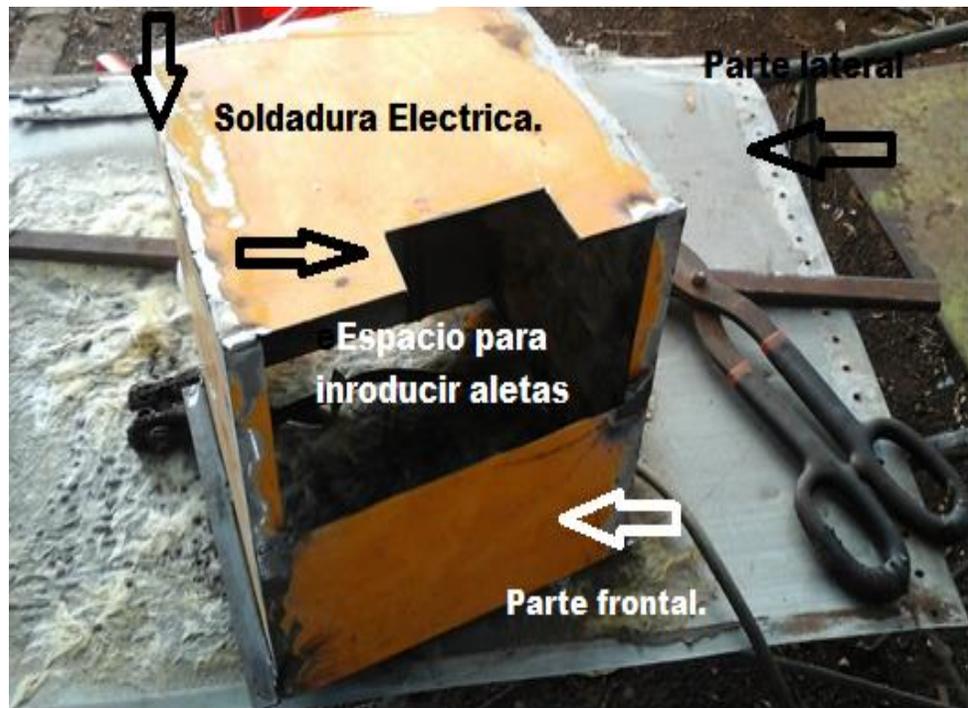


Figura 40. Construcción de tapaderas para hornos (Fuente propia).

2. Luego se cortó una pieza de lámina de una longitud de 0.40 m y una ancho de 0.26 m que se utiliza como parte superior de la tapadera, se aplica soldadura en las esquinas para unirla como se observa en la figura 6, después se cortó una pieza de lámina con longitud de 0.405 m y ancho de 0.09 m que se utilizara en la parte frontal, se une por medio de soldadura en las esquinas quedando finalmente como en la figura 6.
3. Se coloca un pieza de ángulo de $\frac{3}{4}$ de pulgada, con una longitud de 0.26 m, que servirá para sujetar la tapadera a la base de banco de pruebas. se observa en los laterales de la tapadera.
4. Se coloca la fibra de vidrio en la parte interior de las tapaderas, se mide cada una de los lados y se corta con la tijera. la fibra se acopla a las piezas de lámina utilizando pega de zapatos, como observa en la figura 41.



Figura 41. Colocación de fibra de vidrio en el interior de las tapaderas (Fuente propia).

5. Utilizando lija para hierro se prepara para aplicar una capa de pintura, quedando un acabado como se aprecia en la figura 8. Para la tapadera del horno de aletas individuales se realiza el mismo proceso, solo se cambian las dimensiones del mismo.



Figura 42. Pintado de las tapaderas para los hornos (Fuente propia).

7.5 Elaboración de los distintos tipos de aletas

El propósito primordial de este trabajo es el de realizar pruebas en superficies extendidas, es por ello que en este apartado explicaremos los pasos realizados para la elaboración de estas.

Es necesario mencionar que se elaborarán aletas cilíndricas, cónicas y cuadradas. Estas a su vez se harán en conjunto (la que constara de cuatro aletas) y aletas individuales, de las cuales se harán de dos materiales diferentes, de estas se fabricarán dos piezas idénticas para cada caso antes mencionado las que se diferenciarán en que unas serán de aluminio y las otras serán de acero.

A continuación se presentan los materiales utilizados:

- Una barra de 3 metros de acero 1020 de 1 pulgada de diámetro
- Una barra de 3 metros de aluminio de 1 pulgada de diámetro
- Una barra de 1.5 metros de acero 1020 de perfil de cuadrado de 0.5 pulgadas
- Una barra de 1.5 metros de aluminio de perfil de cuadrado de 0.5 pulgadas
- Una placa de aluminio de 14 pulg x 29 pulg de 0.25 pulgadas de espesor.
- Una placa de acero de 14 pulg x 29 pulg de 0.25 pulgadas de espesor.

Las herramientas usadas fueron las siguientes:

- Un torno
- Una fresadora
- Una sierra alterna
- Una sierra manual
- Un taladro
- Equipo de soldadura eléctrica
- Equipo de soldadura MIG para Aluminio
- Una lima plana de 8 pulgadas

- Una prensa
- Una pulidora
- 3 hojas de lija de 200, 400 y 600
- Accesorios de taladro para pulir los cordones de soldadura

El procedimiento empleado fue el siguiente:

1. Con la sierra alternativa se cortaron las barras de aluminio y acero 1020 en trozos de 35cm
2. Luego a cada uno de los trozos se colocaron en el torno para refrentarlos y darles la medida de 30cm a cada uno. En el caso de las aletas cónicas se procedió a desplazar el contrapunto para poder darles el acabado cónico.



Figura 43. Colocación de trozos de aluminio y acero en el torno (Fuente propia)

3. Luego a las piezas cónicas y cilíndricas se les realizó un acabado superficial con lija de diferente grano (200, 400 y 600), estas piezas siempre montadas en el torno. A las piezas cuadradas la lija se aplicó manualmente fuera del torno.



Figura 44. Lijado de piezas cilíndricas y cónicas en el torno (Fuente propia).

A continuación las placas de aluminio y acero fueron cortadas en 3 trozos de 9.5 pulg x 9.5 pulg y en 3 trozos de 3.25 pulg x 3.25 pulg para cada uno de los materiales.

4. En la fresadora se procedió a rectificar las medidas de las placas a medidas de 9pulg x 9 pulg para los trozos más grandes y de 3pulg x 3 pulg para los trozos pequeños.
5. Para la unión de las aletas de aluminio se usó el equipo de soldadura MIG y así poder unir la placa base con las aletas. Mientras que para las de acero se usó el equipo de soldadura por arco eléctrico de electrodo consumible.



Figura 45. A la izquierda se muestra una aleta individual y al derecha un conjunto de aletas durante el proceso de soldadura (Fuente propia).

6. Y se finalizó puliendo los cordones de soldadura con el taladro y accesorios adecuados para este.

7.6 Programación de tarjeta arduino

Es importante mencionar que la tarjeta arduino será la encargada de tomar la lectura de 12 sensores de temperatura MLX90614, de los cuales 6 tomarán la lectura de las aletas individuales y los otros 6 los de las aletas en conjunto, estos a su vez estarán fijos en una posición ya establecida.

Los materiales usados son:

- Una placa arduino uno

Las herramientas utilizadas son:

- El programa Arduino
- Una computadora

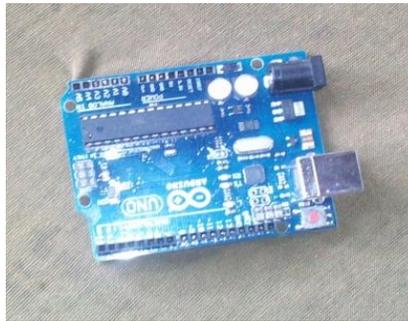


Figura 46. Placa Arduino Uno R3 (Fuente propia).

7.6.1 Programación

La programación desarrollada es por el método de SMBus I²C, ya que tiene algunas ventajas. A través de I²C se pueden conectar más de 127 dispositivos usando sólo dos pines de la tarjeta Arduino y adicionalmente, en este sensor específico (MLX90614), se obtiene una mejor resolución en la lectura.

Para ello, se utilizó la librería I²Cmaster que ha sido modificada por la gente del sitio web <http://bildr.org/> para que funcione correctamente con la tarjeta Arduino.

Conectar dos o más sensores MLX90614 es difícil, ya que vienen de fábrica con la misma dirección de comunicación (0x5A). Si se conectan dos o más, la tarjeta Arduino no logra diferenciar a cada uno de ellos y devolverá la lectura de

alguno de los dos. La dirección universal (0) permite acceder al dispositivo, incluso si asignó una nueva dirección, así que si olvida la dirección asignada a un dispositivo siempre puede usar 0.

Cambiar la dirección de los sensores de temperatura, solo se podrá llevar a cabo con el siguiente esquema de la conexión

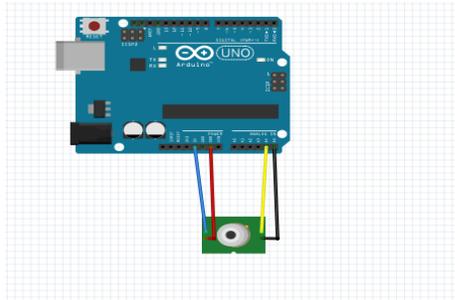


Figura 47. Conexión de placa arduino y sensor MLX90614 para realizar el cambio de dirección requerido (Fuente propia).

El esquema electrónico es el que se muestra a continuación:

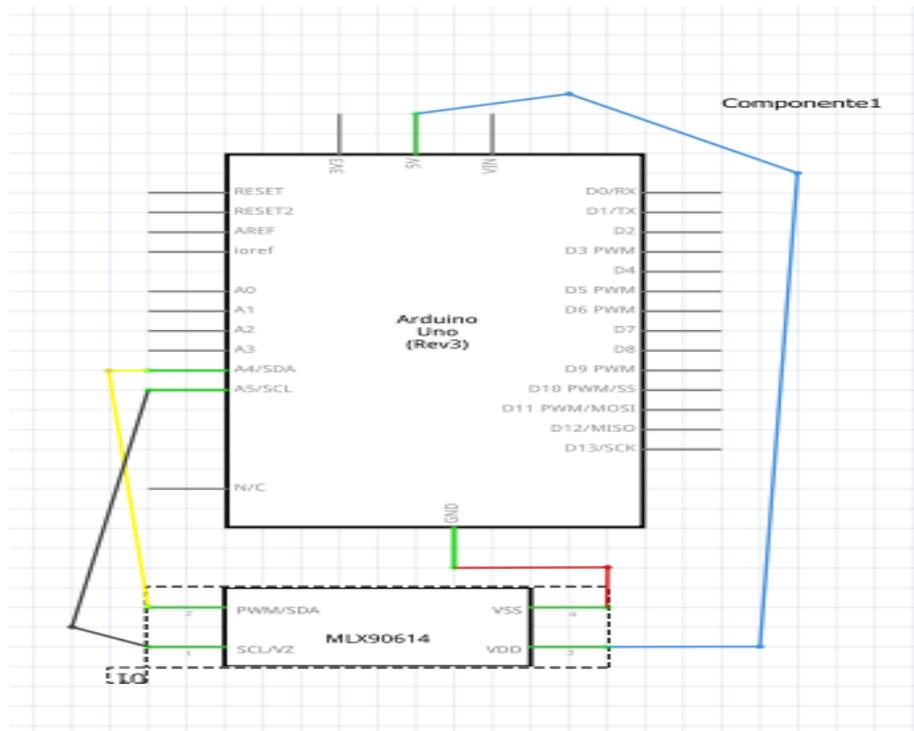


Figura 48. Esquema de conexión de la figura 47 (Fuente propia).

Tiene que asignar una dirección a cada uno de los MLX90614 que quiera conectar al mismo tiempo. Solo puede cambiar una dirección a la vez. No se debe conectar más de un sensor MLX90614 a la tarjeta arduino mientras esté cambiando la dirección de uno de estos. Para ello, se utiliza el código de arduino el cual se muestra como Código 4 en el Apéndice C de los anexos (cortesía de wiki.wiring.co). (wiki.wiring.co, 2013)

7.6.2 Leer los sensores

Unas veces cambiadas la dirección de los sensores se puede proceder a conectar los 12 sensores y su respectiva toma de lectura, con el siguiente código (encontrado en wiki.wiring.co) el cual ha sido modificado para uso de los 12 sensores utilizados en este proyecto. (wiki.wiring.co, 2013)

El programa que debe cargarse en la tarjeta arduino se muestra en Código 5 del Apéndice C que se encuentra en los anexos.

7.6.3 Conexión de circuito eléctrico

Los materiales usados son:

- Una placa arduino uno
- Dos pistas impresas de cobre
- Cables para circuitos eléctricos
- 12 sensores MLX9014
- Estaño
- Pasta para soldar estaño

Las herramientas utilizadas son:

- Un cautín



Figura 49. Cautín utilizado en la elaboración de circuitos (Fuente propia)

En la siguiente figura se muestra la conexión de los elementos para la lectura de temperaturas en diferentes puntos de las aletas. Es importante mencionar que serán dos circuitos semejantes uno para aletas individuales y otro para aletas en conjunto.

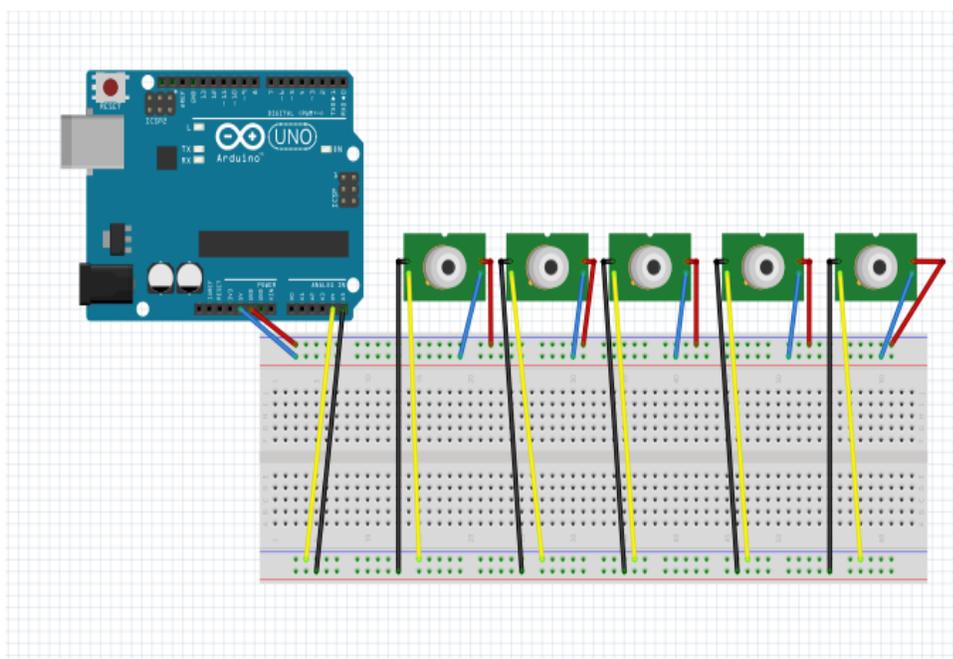


Figura 50. Dibujo de la conexión para la toma de temperaturas de las aletas en conjunto (Fuente propia).

El esquema electrónico se muestra a continuación:

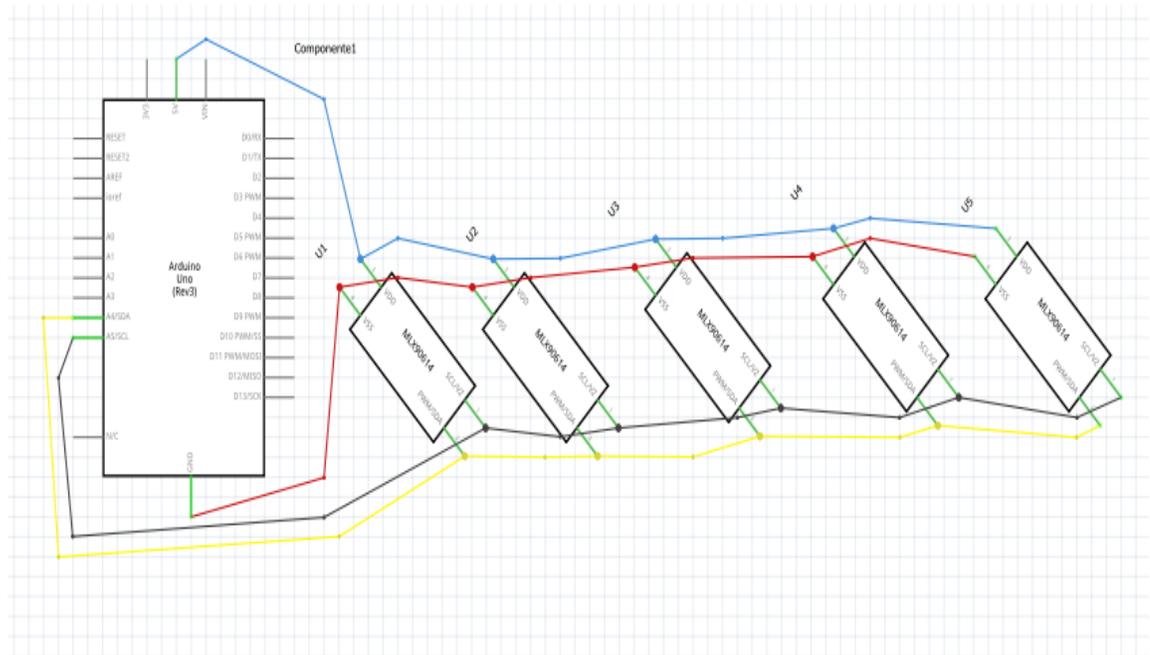


Figura 51. Esquema de conexión de la placa arduino y los sensores MLX90614 en la toma de temperaturas de superficies extendidas (Fuente propia).

Los pasos que se siguieron para la elaboración de los circuitos son:

1. Se colocaron cada uno de los sensores en sus respectivos lugares en la placa de bronce ya perforada.
2. Se soldaron cada uno de los sensores MLX90614 con estaño.
3. Después se procedió a unir las dos pistas de 15cm x 4cm para obtener la pista de conjunto.



Figura 52. Unión de los sensores MLX90614 a las placas de circuito impreso (Fuente propia).

7.7 Elaboración de circuitos impresos de cobre

Procedimiento seguido para la elaboración de circuitos impresos.



Figura 53. Materiales y herramientas usados en la elaboración de circuitos impresos.

En la elaboración de los circuitos impresos se utilizaron los siguientes materiales:

- Una placa de cobre de 15cm x 20cm
- 2 onzas de ácido ferrítico
- 10 hojas de papel cuche
- 3 brocas de 1mm de diámetro
- Acetona
- Alcohol

Mientras que las herramientas utilizadas son:

- Una sierra
- Un taladro
- Una lima triangular
- Plancha para ropa
- Impresora laser

Los pasos para su elaboración son los siguientes:

1. Elaboración de las pistas con ayuda de Proteus
2. Corte de placa de cobre en piezas de 4cm x 15cm
3. Limado de los bordes de las piezas de cobre así como su respectiva limpieza
4. Impresión láser de las pistas en papel cuche
5. Se colocan las impresiones sobre las placas de cobre y sobre ella se pasa la plancha caliente por 5 minutos



Figura 54. Planchado de papel cuche impreso sobre las placas de cobre (Fuente propia).

6. Las placas de cobre con papel sobre ella se remojan en agua durante menos de un minuto
7. Se retira el papel de las placas de cobre
8. Luego se disuelve el ácido en poco agua y se introducen las placas de cobre en el ácido (utilizar guantes de hule, mascarilla y gafas para evitar el contacto con el ácido)
9. Las placas se dejan en el ácido el tiempo necesario para remover el cobre que no está cubierto con tinta.

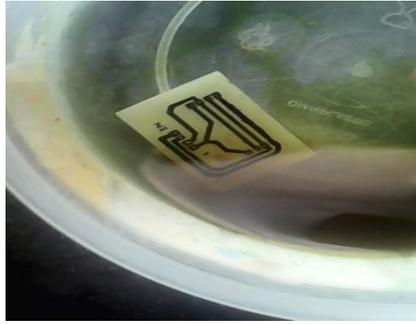


Figura 55. Remojo de las placas de cobre en ácido (Fuente propia).

10. Las placas de cobre son retiradas del ácido y limpiadas

11. Luego con la broca de un milímetro y el taladro se procede a perforar los agujeros en los circuitos impresos

7.8 Construcción de rieles para sensores.

Proceso de construcción de los rieles donde se colocarán los sensores que medirán temperatura:

Los materiales a utilizar:

- Lámina galvanizada lisa, # 28
- Remaches de 1/8 pulgada de diámetro por 3/8 de largo.

Herramientas a utilizar para la construcción de los rieles:

- Martillo, cincel, cinta métrica y tenaza para mecánico.
- Tijera para cortar lamina.
- Taladro 110 V.
- Remachadora.

El proceso de construcción se realiza de la siguiente forma:

1. Se cortó una pieza de lámina galvanizada con una longitud de 0.305 m y un ancho de 0.32 m, utilizando la tijera de cortar lámina. Se procede a realizar unos trazos donde se hará los dobleces, se miden desde un extremo de la lámina en la dirección del ancho, primer trazo

a 0.02 m, segundo trazo 0.135 m, tercer trazo 0.185 m y cuarto trazo a 0.30 m.

2. Luego en cada trazo se procede a doblar, hasta obtener el siguiente perfil de la figura 56.

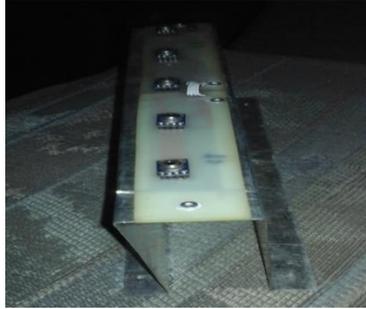


Figura 56. Doblado de las láminas para los rieles(Fuente propia).

3. Después se realiza un saque donde se ubicarán las placas de los sensores, la mediada del agujero es 0.29 m de longitud y un ancho de 0.04 m, utilizando la pulidora y el disco de corte se realiza el saque como se aprecia en la figura 57.



Figura 57. Corte del saque para la colocación de los sensores (Fuente propia).

4. Se acopla la placa de los sensores en el riel, realizando unos agujeros alrededor de la placa, para poder sujetarlos con los remaches al riel esto se puede ver en la figura 58.



Figura 58. Unión de las placas de los sensores con el riel para aletas de conjunto (Fuente propia).

5. Esto se realiza tanto para el riel del horno de aleta individuales que es proceso descrito anteriormente y para el riel de latas de conjunto, los único que cambia en la altura del riel, que para el de aletas de conjunto es 0.09 m. Se puede ver el riel de conjunto en la figura 59.



Figura 59. El mismo proceso se realiza para las placas y riel de las aletas individuales.

8 Pruebas de validación del equipo

En la validación del banco de pruebas para superficies extendidas se realizaron diferentes pruebas para cada uno de los dos calefactores las cuales son:

- Toma de datos con los seis sensores para el calefactor con aletas individuales y el de aletas en conjunto.
- Lectura de datos para los primeros sensores 0, 1 y 2 para ambos calefactores.
- Lectura de para los últimos tres sensores 3, 4 y 5 para ambos calefactores..
- Lectura de los sensores 0, 3, 4 y 5.

La numeración de los sensores se muestra en la figura 60.

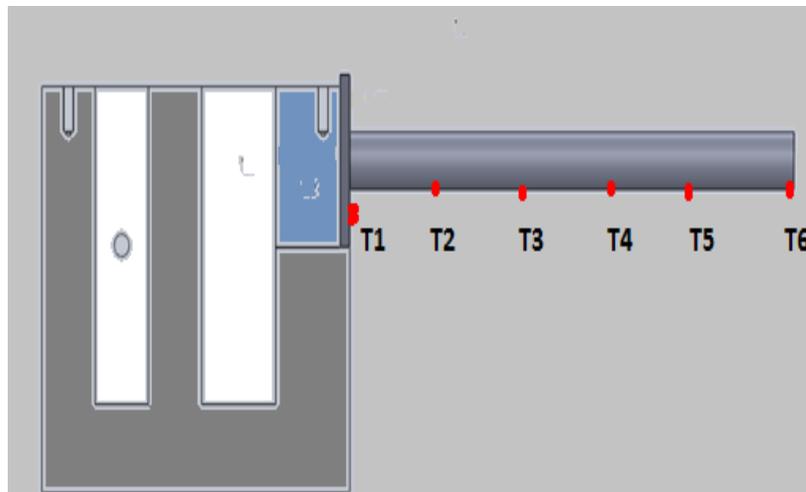


Figura 60. Muestra los puntos donde cada uno de los sensores tomara la lectura de temperatura.

La posición de cada uno de los sensores se encuentran ubicados a las siguientes distancias a partir de la base.

Tabla 1. Distancia de cada uno de los 6 sensores para toma de temperatura a partir de la base.

Sensor	0	1	2	3	4	5
Distancia(cm)	0.00	6.00	12.00	18.00	24.00	30.00

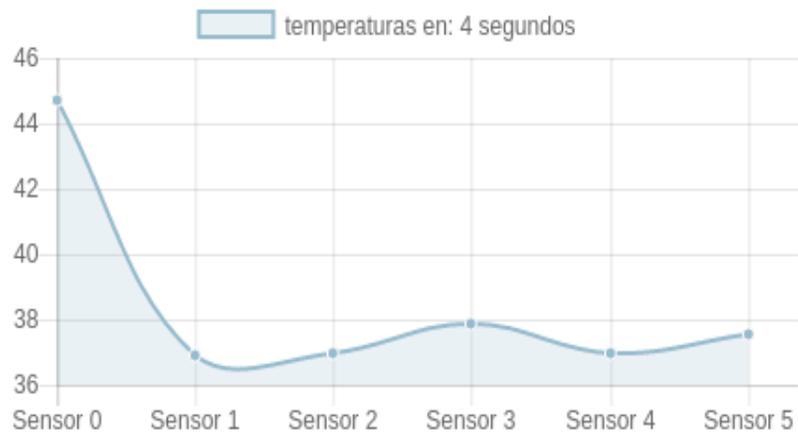
8.1 Toma de datos con los seis sensores para el calefactor con aletas individuales y el de aletas en conjunto.

CALEFACTOR PARA ALETAS INDIVIDUALES.

A continuación se muestra la gráfica y sus valores de cómo fueron cambiando durante la prueba, esto para la aleta individual cónica de Aluminio.

Perfil para cuatro segundos.

PERFIL DE TEMPERATURA



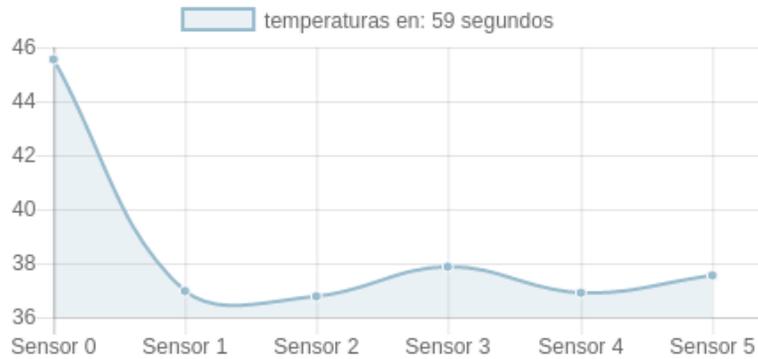
Gráfica 8. Perfil de temperatura de 4 segundos de la aleta individual cónica de aluminio.

Tabla 2. Datos para perfil de temperatura del gráfico 8.

Sensores	0	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	44.72	36.88	36.94	37.86	36.94	37.52

Perfil de temperatura para 1 minuto.

PERFIL DE TEMPERATURA 1



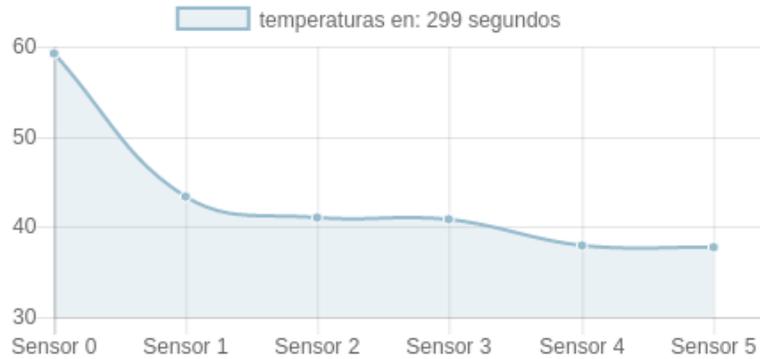
Gráfica 9. Perfil de temperatura de 1 minuto de la aleta individual cónica de aluminio.

Tabla 3. Datos para perfil de temperatura del gráfico 9.

Sensores	0	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	45.58	37.00	36.80	37.86	36.88	37.54

Perfil de temperatura para 5 minutos.

PERFIL DE TEMPERATURA 1



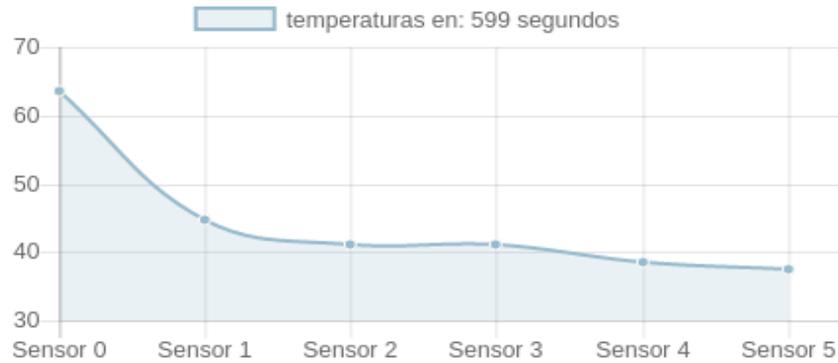
Gráfica 10. Perfil de temperatura de 5 minutos de la aleta individual cónica de aluminio.

Tabla 4. Datos para perfil de temperatura del gráfico 10.

Sensores	0	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	59.30	43.40	41.02	40.82	37.94	37.78

Perfil de temperatura para 10 minutos.

PERFIL DE TEMPERATURA 1



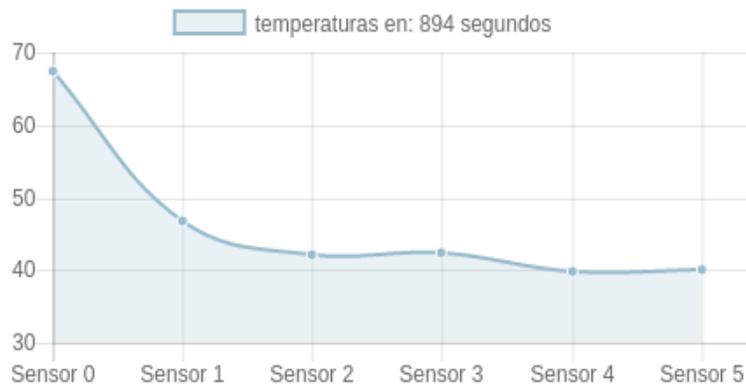
Gráfica 11. Perfil de temperatura de 10 minutos de la aleta individual cónica de aluminio.

Tabla 5. Datos para perfil de temperatura del gráfico 11.

Sensores	0	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	63.46	44.70	41.00	41.16	38.40	37.5

Perfil de temperatura para 15 minutos.

PERFIL DE TEMPERATURA 1



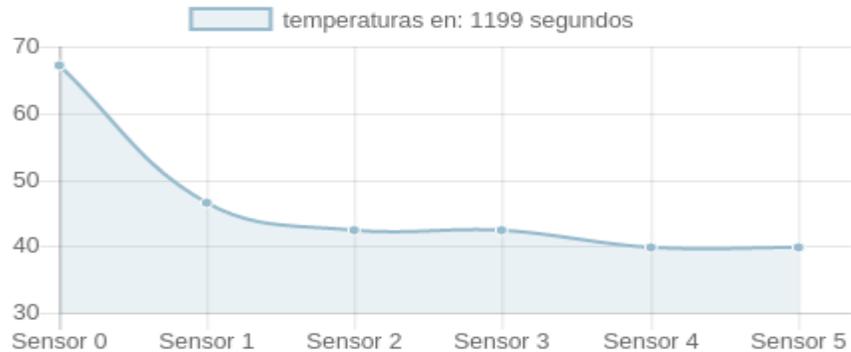
Gráfica 12. Perfil de temperatura de 5 minutos de la aleta individual cónica de aluminio.

Tabla 6. Datos para perfil de temperatura del gráfico 12.

Sensores	0	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	67.32	46.78	42.34	42.2	40.00	40.26

Perfil de temperatura para 20 minutos.

PERFIL DE TEMPERATURA 1



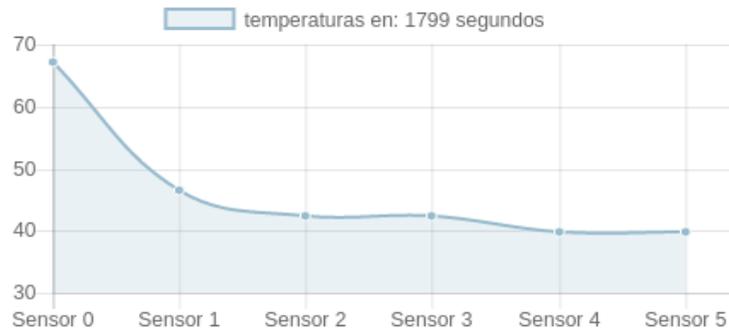
Gráfica 13. Perfil de temperatura de 20 minutos de la aleta individual cónica de aluminio.

Tabla 7. Datos para perfil de temperatura del gráfico 13.

Sensores	0	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	67.28	46.46	42.34	42.5	39.7	39.74

Perfil de temperatura para 30 minutos.

PERFIL DE TEMPERATURA 1



Gráfica 14. Perfil de temperatura de 30 minutos de la aleta individual cónica de aluminio.

Tabla 8. Datos para perfil de temperatura del gráfico 14.

Sensores	0	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	67.28	46.46	42.34	42.50	39.70	39.74

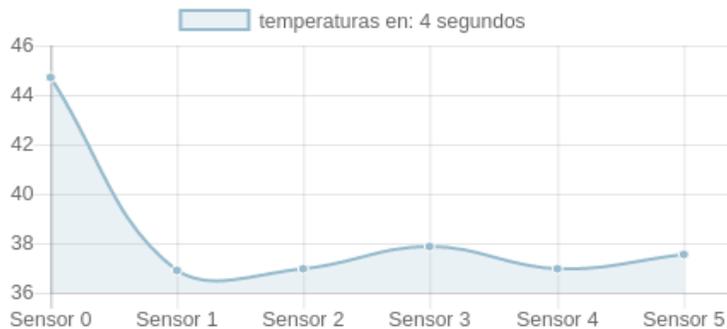
Se puede observar en las gráficas como el perfil de temperatura ha ido aumentando la temperatura hasta estabilizarse. Es importante mencionar el hecho de que el equipo estuvo en precalentamiento 15 minutos antes de iniciar la toma de datos con la aplicación.

CALEFACTOR PARA ALETAS DE CONJUNTO

A continuación se muestra el comportamiento de los perfiles de temperatura durante la prueba, esto para las aletas cilíndricas en conjunto de Aluminio.

Perfil de temperatura para 4 segundos.

PERFIL DE TEMPERATURA 1



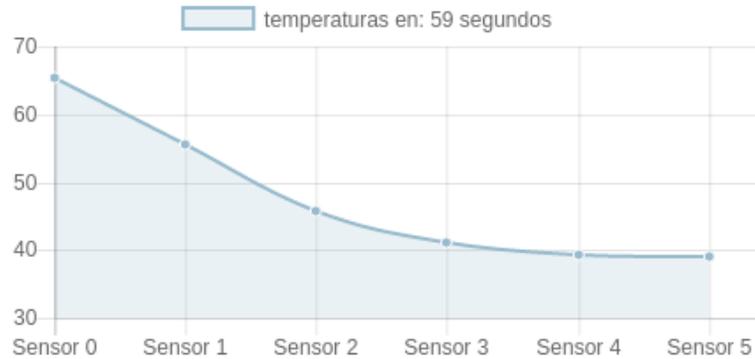
Gráfica 15. Perfil de temperatura de 4 segundos para aletas cilíndricas en conjunto de aluminio.

Tabla 9. Datos para perfil de temperatura del gráfico 15.

Sensores	0	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	44.72	36.88	36.94	37.86	36.94	37.52

Perfil de temperatura para 1 minuto.

PERFIL DE TEMPERATURA 2



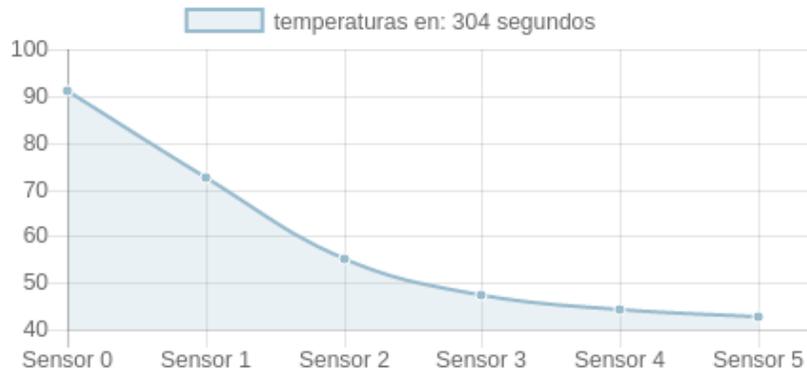
Gráfica 16. Perfil de temperatura de 1 minuto para aletas cilíndricas en conjunto de aluminio.

Tabla 10. Datos para perfil de temperatura del gráfico 16.

Sensores	0	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	65.34	55.48	45.66	41.18	39.26	39.14

Perfil de temperatura para 5 minutos.

PERFIL DE TEMPERATURA 2



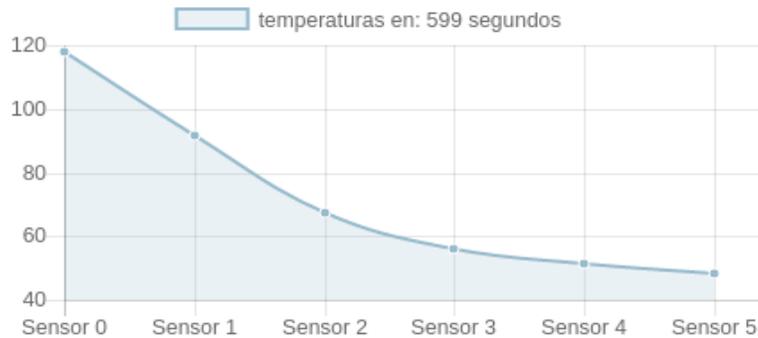
Gráfica 17. Perfil de temperatura de 5 minutos para aletas cilíndricas en conjunto de aluminio.

Tabla 11. Datos para perfil de temperatura del gráfico 17.

Sensores	0	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	90.96	72.5	55.22	47.38	44.12	42.72

Perfil de temperatura para 10 minutos.

PERFIL DE TEMPERATURA 2



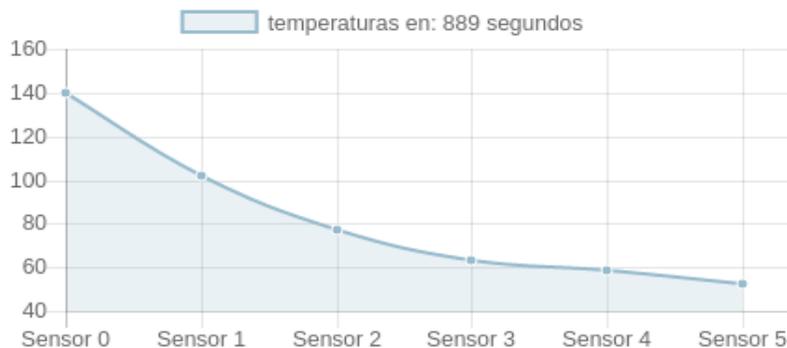
Gráfica 18. Perfil de temperatura de 10 minutos para aletas cilíndricas en conjunto de aluminio.

Tabla 12. Datos para perfil de temperatura del gráfico 18.

Sensores	0	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	117.72	91.56	67.3	55.96	51.42	48.24

Perfil de temperatura para 15 minutos.

PERFIL DE TEMPERATURA 2



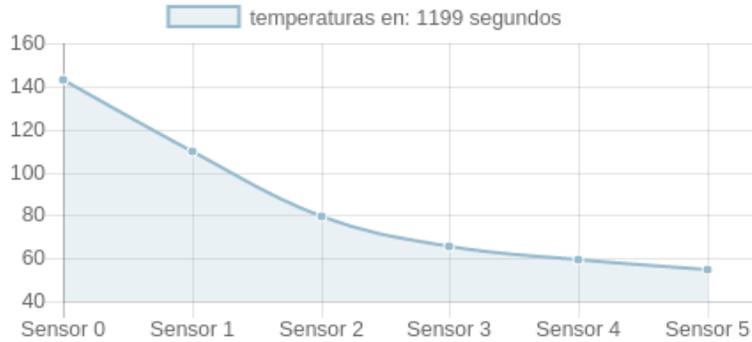
Gráfica 19. Perfil de temperatura de 15 minutos para aletas cilíndricas en conjunto de aluminio.

Tabla 13. Datos para perfil de temperatura del gráfico 19.

Sensores	0	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	140.22	101.76	77.02	63.40	58.38	52.32

Perfil de temperatura para 20 minutos.

PERFIL DE TEMPERATURA 2



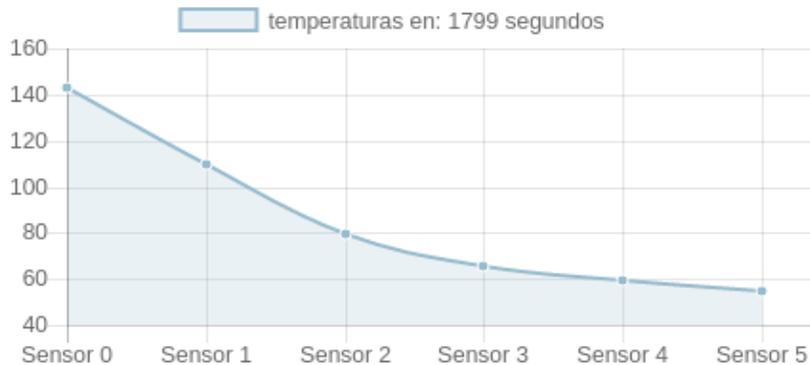
Gráfica 20. Perfil de temperatura de 20 minutos para aletas cilíndricas en conjunto de aluminio.

Tabla 14. Datos para perfil de temperatura del gráfico 20.

Sensores	0	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	143.02	109.78	79.38	65.4	59.7	54.38

Perfil de temperatura para 30 minutos.

PERFIL DE TEMPERATURA 2



Gráfica 21. Perfil de temperatura de 30 minutos para aletas cilíndricas en conjunto de aluminio.

Tabla 15. Datos para perfil de temperatura del gráfico 21.

Sensores	0	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	144.03	109.40	79.58	65.9	59.95	55.11

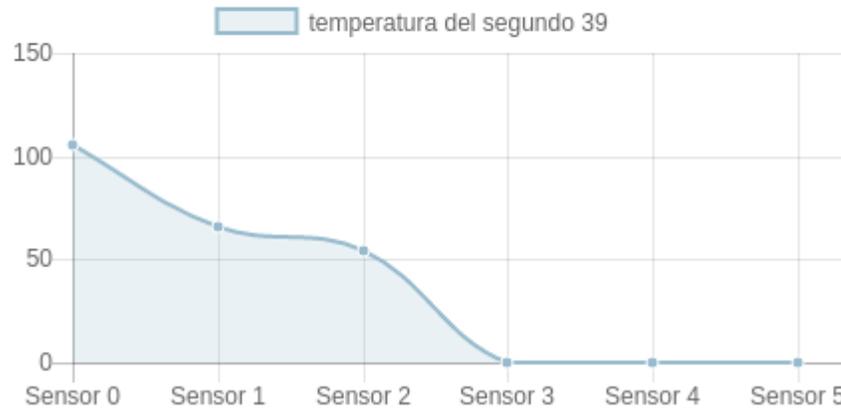
Se puede observar en las gráficas como el perfil de temperatura ha ido aumentando la temperatura hasta estabilizarse. Es importante mencionar el hecho de que el equipo estuvo en precalentamiento 15 minutos antes de iniciar la toma de datos con la aplicación. Así como también que durante esta prueba el conjunto de aletas cilíndricas de aluminio se deformaron por estar expuesta a altas temperaturas durante mucho tiempo.

8.2 Lectura de datos para los primeros sensores 0, 1 y 2 para ambos calefactores.

CALEFACTOR INDIVIDUAL

Para esta se utilizó la aleta cilíndrica individual de acero en la prueba solo se contó con la lectura de los sensores 0, 1 y 2, del cual se puede ver su perfil en la siguiente gráfica.

PERFIL DE TEMPERATURA 1



Gráfica 22. Perfil de temperatura de los sensores 0, 1 y 2 para aleta cilíndrica individual de acero.

Tabla 16. Datos para perfil de temperatura del gráfico 22.

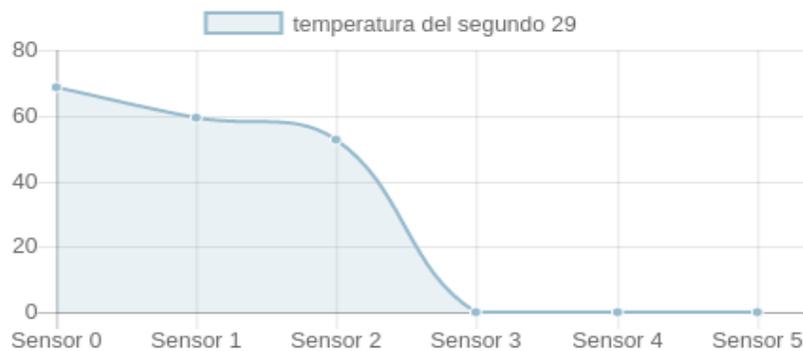
Sensores	0	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	105.56	65.56	53.88	0	0	0

En esta prueba se puede observar que los últimos tres sensores tiene una lectura de 0°C ya que no están trabajando.

CALEFACTOR PARA CONJUNTO DE ALETAS

Para esta se utilizó las aletas cuadradas de aluminio en la prueba solo se contó con la lectura de los sensores 0, 1 y 2, del cual se puede ver su perfil en la siguiente gráfica.

PERFIL DE TEMPERATURA 2



Gráfica 23. Perfil de temperatura de los sensores 0, 1 y 2 para aletas cuadradas de aluminio en conjunto.

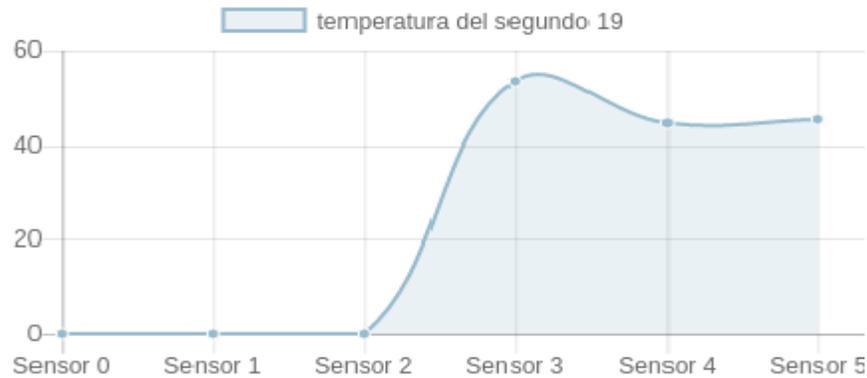
Tabla 17. Datos para perfil de temperatura del gráfico 23.

Sensores	0	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	68.70	59.38	52.66	0	0	0

8.3 Lectura de para los últimos tres sensores 3, 4 y 5 para ambos calefactores.

CALAEFACTOR PARA ALETAS INDIVIDUALES

Para esta se utilizó la aleta cilíndrica individual de acero en la prueba solo se contó con la lectura de los sensores 3, 4 y 5, del cual se puede ver su perfil en la siguiente gráfica.



Gráfica 24. Perfil de temperatura de los sensores 3, 4 y 5 para aleta cilíndrica individual de acero.

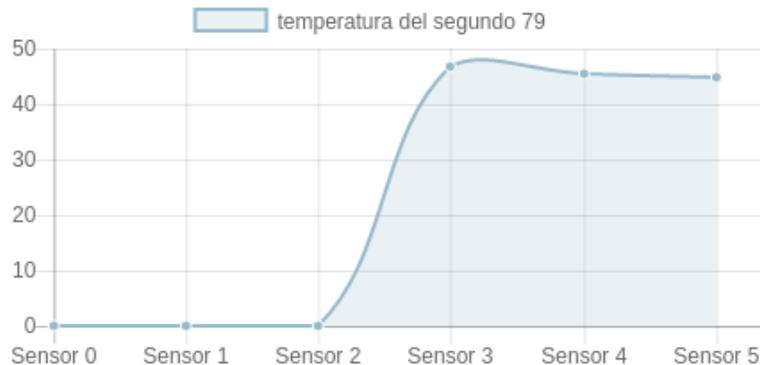
Tabla 18. Datos para perfil de temperatura del gráfico 24.

Sensores	0	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	0	0	0	53.30	44.34	45.36

CALEFACTOR PARA ALETAS DE CONJUNTO

Para esta se utilizó las aletas cuadradas de aluminio en la prueba solo se contó con la lectura de los sensores 3, 4 y 5, del cual se puede ver su perfil en la siguiente gráfica.

PERFIL DE TEMPERATURA 2



Gráfica 25. Perfil de temperatura de los sensores 3, 4 y 5 para aletas cuadradas de aluminio en conjunto.

Tabla 19. Datos para perfil de temperatura del gráfico 25.

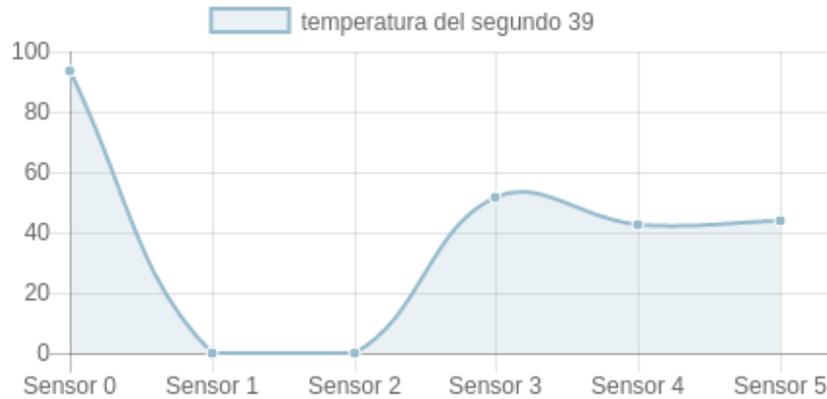
Sensores	0	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	0	0	0	47.0	46.30	45.52

8.4 Lectura de los sensores 0, 3, 4 y 5.

CALAEFACTOR PARA ALETAS INDIVIDUALES

Para esta se utilizó la aleta cilíndrica individual de acero en la prueba solo se contó con la lectura de los sensores 0, 3, 4 y 5, del cual se puede ver su perfil en la siguiente gráfica.

PERFIL DE TEMPERATURA 1



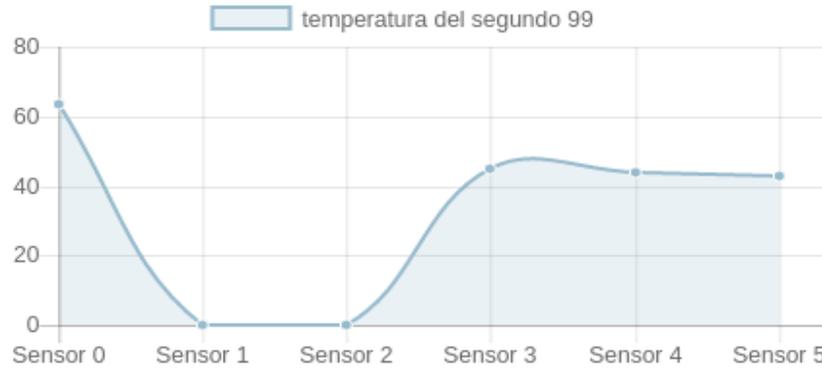
Gráfica 26. Perfil de temperatura de los sensores 0, 3, 4 y 5 para aleta cilíndrica individual de acero.

Tabla 20. Datos para perfil de temperatura del gráfico 26.

Sensores	0	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	93.5	0	0	51.36	42.88	43.6

CALEFACTOR PARA ALETAS DE CONJUNTO

Para esta se utilizó las aletas cuadradas de aluminio en la prueba solo se contó con la lectura de los sensores 0, 3, 4 y 5, del cual se puede ver su perfil en la siguiente gráfica.



Gráfica 27. Perfil de temperatura de los sensores 0, 3, 4 y 5 para aletas cuadradas de aluminio en conjunto.

Tabla 21. Datos para perfil de temperatura del gráfico 27.

Sensores	0	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	64.08	0	0	45.38	43.58	43.36

8.5 Calculo de eficiencia para los perfiles de la sección 8.1

Estos cálculos se han realizado para los datos experimentales de la aleta cónica individual y para el conjunto de aletas cilíndricas.

8.5.1 Eficiencia aleta individual cónica

Para una aleta de perfil cónico la transferencia de calor se calcula con la siguiente ecuación 42 la cual ya fue establecida anteriormente.

$$Q_f = \pi k M R^2 L_c^{-1/2} (T_3 - T_\infty) \frac{I_2(2ML_c^{-1/2})}{I_1(2ML_c^{-1/2})}$$

Donde I_1 y I_2 son funciones de Bessel modificadas de primero y segundo orden, $L_c = 0.30 \text{ m}$ longitud de la aleta, conductividad del aluminio $k = \frac{239.48W}{mK}$, radio $R = 0.0127 \text{ m}$.

Para $M = \sqrt{\frac{2L_c h}{kR}}$ resulta que $M = 1.34 \text{ m}^{-1}$ y $2ML_c^{-\frac{1}{2}} = 1.473$.

Se tiene entonces: $I_2(1.473) = 0.3237$ e $I_1(1.473) = 0.9552$

Se encuentra que: $Q_f = 3.85 \text{ W}$

Para la cantidad de calor disipado máximo que se representa por el término $hA_f\theta_b$ en la ecuación 5, se tiene que $h = \frac{9.17\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$ y $A_f = 0.029 \text{ m}^2$ sustituyendo términos en la ecuación de eficiencia se tiene:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_b}{hA_f\theta_b} = \frac{3.85 \text{ W}}{\left(\frac{9.17\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right)(0.0239 \text{ m}^2)(67.28 - 29)\text{K}} = 0.4589$$

$$\eta = (0.4589)100\% = 45.89 \%$$

Se obtiene una eficiencia de 45.89 % para una temperatura de 67.28 °C la cual aumentaría con el incremento de temperatura en la fuente de calor.

8.5.2 Eficiencia aleta de conjunto cilíndrica material aluminio

Calculo de eficiencia para aleta individual cónica de aluminio para 30 minutos, utilizando la ecuación 5 antes mencionada, con una temperatura de placa base de 67.28 °C y una temperatura de ambiente de 29 °C.

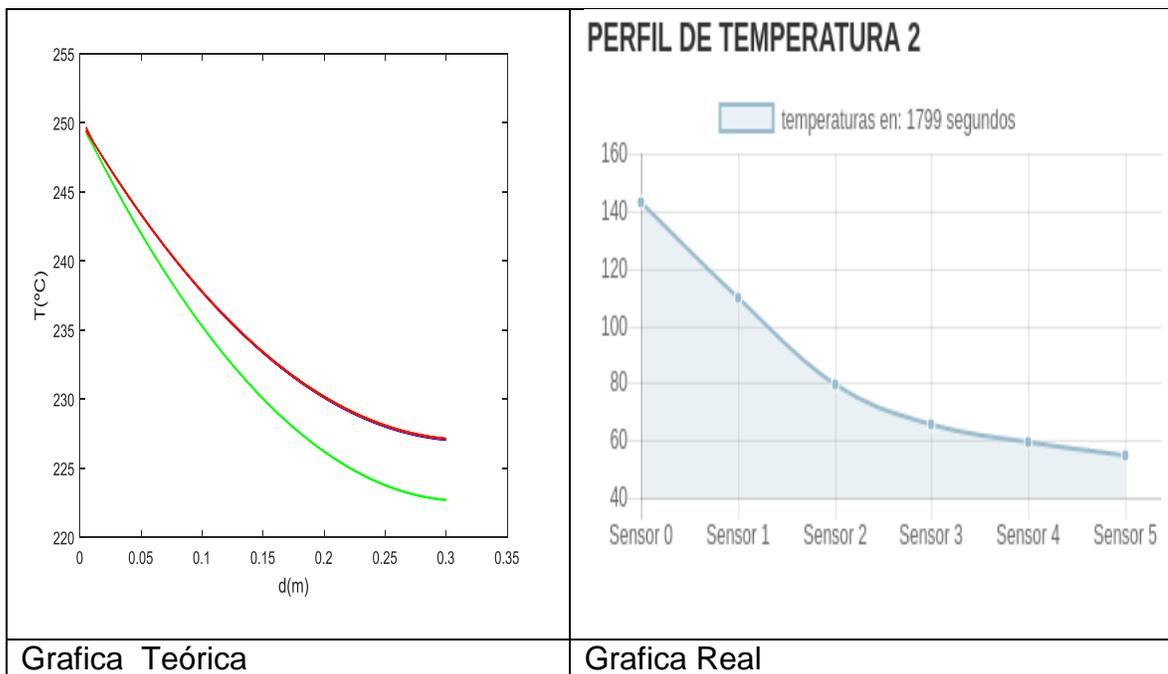
$$\eta = \frac{\dot{Q}_b}{hA_f\theta_b} = \frac{\dot{Q}_f}{hA_f\theta_b}$$

Para este caso se utiliza siempre la ecuación anterior, para un tiempo de 30 minutos y una temperatura de placa base de 144.03 °C y del ambiente de 29 °C se tiene calor disipado $\dot{Q}_b = 21.89 \text{ W}$ la eficiencia es:

$$\eta = 86.83 \%$$

8.6 Superposición de perfil estado transitorio teórico y real

Para una aleta cilíndrica de aluminio individual, se puede observar el perfil de temperatura teórico en la gráfica 1, con una temperatura de base 250 °C. Al comparar con el perfil de temperatura real, con una temperatura de base 68 °C, se observa la misma tendencia en los perfiles de temperatura. La gráfica teórica es el gráfico número 7 obtenido con matlab, mientras que el gráfico real está representado por el gráfico número 21 el cual fue obtenido durante las pruebas de validación,



Gráfica 28, Comparación de un perfil teórico con uno real para superficies extendidas cilíndricas.

9 Presupuesto

A continuación se presentan los costos incurridos para la construcción del banco de pruebas de superficies didácticas, para ello, se presentan en las siguientes dos subdivisiones las cuales son:

- Materiales utilizados
- Mano de obra Empleada

En la siguiente tabla se muestra la cantidad y costo detallado de todos los materiales utilizados así como el total de estos:

Tabla 22. Cantidad y costos de los materiales utilizados para la construcción del banco.

Descripción	Unidades	Cantidad	Precio	Total
Lamina de hierro de ¼" de espesor, 2x1M de longitud y ancho.	Pliego	1	\$ 95.00	\$ 95.00
Barra de acero para transmisión 1" AISI 1020.	Metro	5	\$ 14.00	\$ 70.00
Barra de aluminio cuadrada de ½"	Metro	2	\$ 12.00	\$ 24.00
Lamina de aluminio de ¼" de espesor , 4'x 12'	pliego	1	\$ 113.00	\$ 113.00
Barra de aluminio redonda 1 "	metro	5	\$ 15.00	\$ 75.00
Barra cuadrada de ½ " AISI 1020	metro	2	\$ 8.00	\$ 16.00
Controle de temperatura	Unidad	1	\$ 40.00	\$ 40.00

TLK 38.				
Control de temperatura Partlow 1161.	Unidad	1	\$ 40.00	\$ 40.00
Termocupla K	Unidad	2	\$ 8.00	\$ 16.00
Sensor infrarrojo de temperatura MLX906	Unidad	12	\$ 7.90	\$ 94.80
Placa Arduino 1 R3	Unidad	1	\$ 22.50	\$ 22.50
Extensión USB	Cable		\$1.80	\$1.80
Porcelana para cerámica	Bolsa	5	\$ 5.50	\$ 27.50
Cable THNN 12	metro	10	\$ 0.27	\$ 2.70
Cable resistente alta temperatura	metro	3	\$ 3.00	\$ 9.00
Cable dúplex # 12	metro	3	\$ 0.80	\$ 2.40
Contactador Magnético 12 A, 220V.	Unidad	2	\$ 35.00	\$ 70.00
Toma macho	Unidad	1	\$ 0.75	\$ 0.75
Interruptor dos polos	Unidad	2	\$ 0.45	\$ 0.90
Resistencia eléctricas de 1000 W,	Unidad	3	\$ 20.00	\$ 60.00

helicoidal, 220V.				
Tubo cuadrado estructural de 1" chapa 16	Pieza 6 M	7	\$ 7.00	\$ 49.00
Lamina de hierro 3/ 64" de espesor 2x1M.	Pliego	2	\$ 14.00	\$ 28.00
Pleybool de 1/4" de espesor 4x8 pies	Pliego	2	\$ 13.00	\$ 26.00
Electrodo 3/32" de diámetro MT12	Caja	1	\$ 5.00	\$ 5.00
Manijas para cabeta	Unidad	2	\$ 1.50	\$ 3.00
Chapas para cabetas	Unidad	2	\$ 2.30	\$ 4.60
Rodo de hierro diámetro 2 pulg	Unidad	4	\$ 3.50	\$ 14.00
Rieles para gabeta de 42 pulg de largo	Unidad	4	\$ 4.95	\$ 9.90
Pintura 1/4 de galón	Unidad	2	\$ 3.90	\$ 7.80
Thinner galón	Unidad	1	\$ 4.75	\$ 4.75
Soldadura en aluminio cordón	Unidad	15	\$ 5.00	\$ 75.00

alrededor de barra de 1"				
Gas	Galón	1	\$5.00	\$2.00
Lija	Pliegos	6	\$0.90	\$5.40
Fibra de Vidrio de ¾ de pulgada	pliego		\$2.00	\$2.00
Accesorios para Taladro		2	\$1.75	\$3.50
Interfaz de Arduino a la Computadora			\$300.00	\$300.00
Otros gastos				\$100.00
TOTAL DE MATERIAL USADO				\$1421.3

La mano empleada para la elaboración del proyecto fue de dos personas, donde el costo total de la mano de obra empleado es de \$500 para cada persona. Así como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 23. Costo de la mano de obra empleada en la construcción del banco de pruebas.

Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Total
Personas	2	\$500	\$1000
TOTAL DE MANO DE OBRA EMPLEADA			\$1000

Por lo tanto los costos totales de la operación son:

Tabla 24. Total de los costos empleados en la construcción del banco de pruebas para superficies extendidas.

Total de materiales utilizados	\$1421.30
Total de mano de obra empleada	\$1000.00
COSTOS TOTALES	\$2421.30

9.1 Depreciación del Equipo

La depreciación se caracteriza porque expresa el valor en función del tiempo y no del uso, lo que viene a decir que cada año fiscal pierde la misma exacta cantidad de valor.

Es necesario mencionar que en el país se ha establecido una vida útil de 15 años para equipos por lo que utilizaremos este dato para calcular la depreciación del banco de pruebas para superficies extendidas. En nuestro caso se usará el método de depreciación por línea recta.

Precio de materiales según artículo de diario digital la página:

Costo total del equipo = \$2421.30

Vida Útil del equipo = 5 años

Calculo de la depreciación lineal:

$$\text{Depreciación} = \frac{\text{Costo Total del Equipo}}{\text{Vida Útil}} = \frac{\$2421.3}{5 \text{ años}} = \$484.26/\text{año}$$

El valor de la depreciación es de \$484.26 por año.

10 Laboratorios y Manual de Instalación

A continuación se presentan las propuestas y 8 guía laboratorio a realizar

10.1 Guías de laboratorio

10.1.1 Guía de Laboratorio 1

Universidad de El Salvador

Faculta de Ingeniería y Arquitectura

Escuela de Ingeniería Mecánica

Asignatura: Transferencia de Calor

Práctica de laboratorio # 1: Determinación de constante de conductividad K de superficie extendidas de conjunto



Catedrático:

Fecha:

Grupo de Laboratorio:

N° carnet	Apellidos	Nombres	Firma

1. Indicaciones Generales

Se exige puntualidad. Para realizar la práctica de laboratorio y haber leído el manual de usuario de equipo. Deberán portar vestimenta adecuada, la cual consiste en la utilización de gabacha, zapatos cerrados

de preferencia zapatos de seguridad y otros implementos que le serán proporcionados según sea necesario.

2. Antecedentes

Si se considera una superficie en la que la temperatura se mantiene constantes y esta se encuentra rodeada por un fluido, hay dos formas en la que es posible aumentar la transferencia de calor. La primera corresponde a un incremento en la velocidad del fluido que rodea la aleta (incremento del coeficiente convectivo); y la otra ocurre al reducir la temperatura de dicho fluido (aumentando la diferencia de temperatura entre la superficie y el fluido). Sin embargo, se encuentra muchas situaciones en las que aumentar el coeficiente de convección al valor máximo posible es insuficiente para obtener la transferencia de calor deseada o los costos asociados son prohibitivos. La opción de reducir la temperatura del medio es a menudo poco práctica. Se ha descubierto que existe una tercera alternativa: aumentar el área de la superficie a través de la cual ocurre la transferencia de calor por convección. De esta manera se hace uso de las denominadas superficies extendidas o aletas, las cuales son piezas de formar geométricas definidas que unen a la superficie por la cual se desea incrementar la disipación de calor.

Actualmente existen numerosas aplicaciones en las cuales se hace uso de las superficies extendidas o aletas y siguen haciéndose nuevos estudios para diferentes geométricas con el afán de mejorar de las mismas.

Las superficies extendidas o aletas

Una superficie extendida, también llamada aleta, es aquella superficie que se usa con el fin de aumentar la razón de transferencia de calor desde otra superficie que se mantiene a una temperatura dada (donde se encuentra en la base de la aleta), por el medio del aumento del área por donde la transferencia de calor se lleva a cabo.

Tipos de superficies extendidas

Los arreglos superficiales más comunes para superficies extendidas, son:

- ✓ Longitudinales.
- ✓ Radiales o transversales.
- ✓ Espinas.

Longitudinales

Son aquellas que se extiende a lo largo del eje de un tubo. Se sujetan por inserción o son soldadas. Las aletas se pueden disponer sobre superficies planas o curvas. Si la disposición es tipo longitudinal, se puede admitir que la superficie de encastre donde se apoya la aleta es plana, siempre que el radio del tubo sea elevado frente al espesor de la aleta.

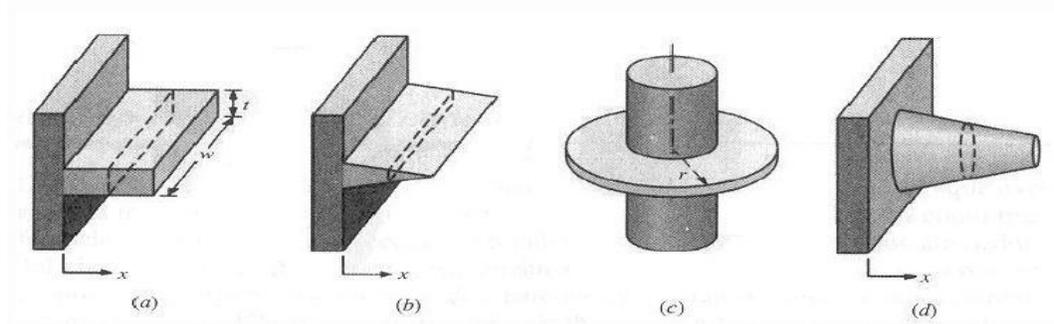


Figura 1. Tipos de aletas a) y b) longitudinales, c) radiales y d) cónicas.

Este tipo se usa en: intercambiadores de doble tubo y en intercambiadores de tubo y coraza sin deflectores, cuando el flujo procede a lo largo del tubo. Se usan además en aplicaciones donde se tengan gases o líquidos viscosos en régimen laminar. Perfiles más

comunes: rectangulares, parabólica convexa, parabólica cóncava (figura 1). Los materiales de los cuales están hechos generalmente son cobre, aluminio, aleaciones de aluminio, aceros y aceros inoxidable.

Radiales transversales

En el análisis y diseño de una superficie con aletas, la cantidad de energía calorífica disipada por una sola aleta de un tipo geométrico dado, se determina auxiliándose del gradiente de temperatura y el área transversal disponible para el flujo de calor en la base de la aleta. Entonces el número total de aletas necesarias para disipar una cantidad de calor dada se determina en base a la acumulación de transferencia de calor.

Las aletas pueden ser con secciones transversales rectangulares, como tiras que se anexan a lo largo de un tubo, se les llama aleta longitudinal; o bien discos anulares concéntricos alrededor de un tubo se les llama aletas circunferenciales. El espesor de las aletas puede ser uniforme o variable.

Los perfiles más comunes son: rectangulares, triangular e hiperbólico (figura 1, literal c).

Espinas

Los perfiles más comunes son: conos, pirámides, cilindros, hiperbólicas convexas y cóncavas (figura 1, literal d).

Se pueden usar para flujo longitudinal o flujo cruzado. Los materiales de estos perfiles son cobre, aluminio, aleaciones de aluminio, aceros y aceros inoxidable.

Uso de las superficies extendidas

Tienen un extenso campo de aplicaciones en problemas de transmisión de calor, desde radiadores de automóviles o equipos de aire acondicionado, hasta los elementos combustibles de reactores refrigerados por gases, o los elementos de absorción y disipación de

energía en vehículos espaciales, o los equipos de refrigeración y calentamiento en la industria química, etc.

Las superficies extendidas tienen aplicaciones tan diversas como:

- Cilindros en motores de motocicletas y podadoras.
- En aparatos eléctricos y electrónicos.
- Intercambiadores de calor.
- Módulos de combustible nuclear.
- En disipadores de calor para procesos residuales de calderas.

Temperatura y el calor

La temperatura es una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica, está relacionada directamente con la parte de la energía interna conocida como energía cinética.

Calor es la transferencia de energía, o energía en tránsito entre un cuerpo material y otro a través de interacciones térmicas. Siempre fluye de una temperatura alta hacia una temperatura más baja y se detiene cuando ambas se igualan

La termodinámica y la transferencia de calor

La termodinámica es la rama de la física que describe los estados de equilibrios a nivel macroscópico. Constituye una teoría fenomenológica, a partir de razonamientos deductivos, que estudia sistemas reales, sin modelizar y sigue un método experimental.

Los estados de equilibrio se estudian y definen por medio de magnitudes extensivas tales como la energía interna, la entropía, el volumen o la composición molar del sistema, o por medio de magnitudes no-extensivas derivadas de las anteriores como la temperatura, presión y el potencial químico.

La transferencia de calor es la energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas.

La termodinámica trata de la cantidad de transferencia de calor a medida que un sistema pasa por un proceso de un estado de equilibrio a otro y no hace referencia a cuánto dura ese proceso. A menudo se está interesado en la velocidad de esa transferencia, lo cual constituye el tema de la ciencia de la transferencia de calor.

La transferencia de calor es un proceso en desequilibrio termodinámico, para que haya transferencia de calor debe existir una diferencia de temperatura. La velocidad a la que ocurre este proceso, depende del gradiente de temperatura.

Mecanismos de transferencia de calor

El calor se puede transferir en tres modos diferentes: conducción, convección y radiación. Todos los modos requieren de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio que posee la temperatura más elevada hacia a uno de temperatura más baja.

Conducción

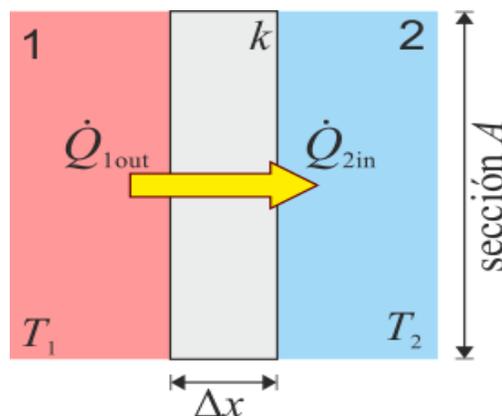


Figura 3. Flujo de calor a través de una pared

La conducción es la transferencia de calor a través de un material fijo tal como la pared estacionaria mostrada en la Fig. 2.

La dirección del flujo de calor será a ángulos rectos a la pared, si las superficies de las paredes son isotérmicas y el cuerpo es homogéneo e isotrópico. Supóngase que una fuente de calor existe a la izquierda de la pared y que existe un receptor de calor en la superficie derecha. Es conocido y después se confirmará por una derivación, que el flujo de calor por hora es proporcional al cambio de temperatura a través de la pared y al área de la pared A . Si t es la temperatura en cualquier punto de la pared y x es el grueso de la pared en dirección del flujo de calor, la cantidad de flujo de calor dQ es dada por:

$$dQ = kA \left(-\frac{dt}{dx} \right)$$

Ecuación 1. Diferencial de conducción de calor

El término $-\frac{dt}{dx}$ se llama gradiente de temperatura y tiene un signo negativo si se supuso una temperatura mayor en la cara de la pared en donde $x = 0$ y menor en la cara donde $x = X$. En otras palabras, la cantidad instantánea de transferencia de calor es proporcional al área y a la diferencia de temperatura dt que impulsa el calor a través de la pared de espesor x . La constante de proporcionalidad k es peculiar a la conducción de calor por conductividad y se le conoce por conductividad térmica. Esta conductividad se evalúa experimentalmente y está básicamente definida por la Ecu. (1). La conductividad térmica de los sólidos tiene un amplio rango de valores numéricos dependiendo de si el sólido es relativamente un buen conductor del calor, tal como un metal, o un mal conductor como el asbesto. Estos últimos sirven como aislantes.

Aun cuando la conducción de calor se asocia usualmente con la transferencia de calor a través de los sólidos, también es aplicable a gases y líquidos, con sus limitaciones.

Convección

La convección es la transferencia de calor entre partes relativamente calientes y frías de un fluido por medio de mezcla. Supóngase que un recipiente con un líquido se coloca sobre una llama caliente. El líquido que se encuentra en el fondo del recipiente se calienta y se vuelve menos denso que antes, debido a su expansión térmica. El líquido adyacente al fondo también es menos denso que la porción superior fría y asciende a través de ella, transmitiendo su calor por medio de mezcla conforme asciende.

La transferencia de calor del líquido caliente del fondo del recipiente al resto, es convección natural o convección libre. Si se produce cualquiera otra agitación, tal como la provocada por un agitador, el proceso es de convección forzada. Este tipo de transferencia de calor puede ser descrito en una ecuación que imita la forma de la ecuación de conducción y es dada por la constante de proporcionalidad h es un término sobre el cual tiene influencia la naturaleza del fluido y la forma de agitación, y debe ser evaluado experimentalmente. Se llama coeficiente de transferencia de calor. Cuando la Ecu. (2) se escribe en su forma integrada, $Q = kA\Delta t$, se le conoce como la ley del enfriamiento de Newton.

$$dQ = hAdt$$

Ecuación 2. Diferencia de convección de calor.

Radiación

La radiación térmica es la energía emitida por la materia (sólidos, líquidos o gases) que se encuentran a una temperatura finita. Todos los cuerpos con una temperatura arriba del cero absoluto, emiten radiación térmica. La radiación se puede atribuir a cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivos. La energía del campo de radiación es transportada por ondas electromagnéticas (o alternativamente, fotones). A diferencia de la convección y la conducción, la transferencia de energía por radiación no requiere la presencia de un medio interpuesto, de hecho ocurre de manera más eficiente en el vacío. Es un fenómeno volumétrico y todos los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben o transmiten radiación en diversos grados.

La radiación que un cuerpo emita se origina a partir de la energía térmica emitida por la superficie y la velocidad a la que se libera energía se denomina potencia emisiva superficial a una temperatura T_s (en K) se expresa por la ley de Stefan-Boltzmann (ecuacion3) definida como:

$$dQ = \sigma \epsilon dA_s T_s^4$$

Ecuación 3. Diferencial de calor.

Conocimientos previos del Banco de Pruebas de Superficies Extendidas

El banco consta de dos hornos fabricados con cerámica, cubiertos con tapaderas de láminas, estas forradas internamente con fibra de vidrio para evitar fugas de calor y mayor seguridad.

El horno más grande se utiliza para mediciones de conjuntos de aletas, estas se encuentran de dos tipos de materiales: aluminio y acero AISI 1020, los perfiles de las aletas son de tres tipos: circular, cónica y cuadradas.

Para el horno pequeño se utiliza para mediciones de aletas individuales, se encuentran de dos tipos de materiales: aluminio y acero ASI 1020, los perfiles que se pueden utilizar son tres: cilíndrica, cónica y cuadrada.

Los hornos operan de manera individual, por medio de controladores de temperatura que están programados hasta una temperatura límite de 250 °C, se recomienda no superar los 120°C, ni prolongar el tiempo de exposición a las aletas de aluminio. Los interruptores activan los controladores, que se encuentra a un costado de cada horno. El calor es generado por medio de resistencia eléctrica, para el horno de aletas de conjunto se tiene dos resistencias de 1000W en paralelo, para el horno de aletas individuales posee una de 100W.

La toma de datos es realizada desde sensores infrarrojos de temperatura ubicados en la parte frontal de cada horno, distribuidos desde la base de las aletas hasta la punta de manera uniforme, estos sensores operan a través de arduino y las mediciones de temperatura son archivadas en la base de dato, del software.

Partes fundamentales del banco de superficies extendidas

Conjunto de aletas cuadradas

- 1) Horno de conjunto
- 2) Horno individual
- 3) Controlador individual de temperatura.
- 4) Interruptor
- 5) Aleta individual
- 6) Controlador de conjunto de temperatura.
- 7) Rieles con sensores

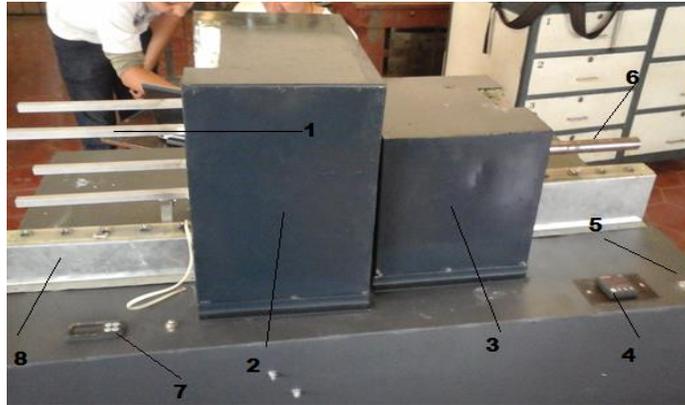


Figura 4. Partes del Banco de Superficies Extendidas

3. Objetivos

- Analizar el comportamiento de las aletas en régimen transitorio y estable.
- Verificar cual es la mejor configuración para realizar la mayor transferencia de calor al ambiente en cuanto a: configuración, material y perfil.
- Calcular los perfiles de temperatura y coeficiente de transferencia de calor por convección conociendo la conductividad térmica de cada material.

4. Tiempo requerido

- 100 minutos

5. Instrumentación a utilizar

Equipo de seguridad Industrial

- Guantes resistentes térmicos
- Gabacha

Equipo de trabajo

- Banco de pruebas de superficies extendidas
- Computadora
- Software de medición

- 2 Superficies extendidas de conjunto (aletas), perfil cuadrado una de aluminio y una de acero AISI 1020.

6. Procedimiento

Para esta práctica de laboratorio se determinará la K de conductividad del material. Se trabajará con dos conjuntos de aletas de diferente material pero de igual perfil. Se realizaran dos pruebas para cada conjunto, en la primera prueba se mantendrán el sensor de la base, el 2 y 4. Se empezara a medir al llegar, la base a una temperatura de 80°C y se apagara el horno y se realizaran nueve tomas de datos, una a cada minuto.

Para la siguiente prueba con la misma aleta se utilizara el sensor base, el 1, 3 y 5. Realizando la el mismo proceso que en la prueba anterior. Al finar la prueba se cambia de perfil de aleta y se realiza el mismo proceso.

Paso a seguir.

- 1) Verifica que los interruptores de cada horno este en la posición OFF.
- 2) Conecte la placa arduino a la computadora con el cable USB, se encenderán los pilos en la placa.
- 3) Abrir el software de medición, configurar los tiempos de toma de datos.
- 4) Iniciar prueba, editar los datos de prueba y seleccionar los sensores que se van utilizar.
- 5) Colocar las aletas a utilizar en la práctica, sujetándolas de extremos de los perfiles e introduciéndolas en las ranuras de los hornos.
- 6) Conecte a la red eléctrica el banco, conexión 220 voltios. Evite entrar en contacto con las aletas, puede producir quemaduras.

- 7) Colocar los interruptores en la posición ON, automáticamente se encenderán los display de los controladores y se escucha el cierre de la bobinas de los contactores. Los hornos empezaran a calentar.
- 8) Seleccionar iniciar toma de datos en software cuando la temperatura en el display de controlador marque 250°C. apagar el horno cuándo el sensor base mida 80°C, colocando el interruptor en la posición OFF, esperar 5 minutos para realizar la toma de datos.
- 9) Cuando finalicé la toma de datos, guardar la prueba.
- 10) Seleccionar nueva prueba y selecciona los sensores base, 1,3 y 5.
- 11) Encender los hornos y repetir los literales 8 y 9.
- 12) Al terminar la prueba esperar 10 minutos
- 13) Cambiar el perfil, utilizando guantes y sujetando de los extremos la aleta.
- 14) Repetir los literales desde el 4 al 11.
- 15) Al terminar la prueba desconectar el banco de superficies extendidas de la conexión a red eléctrica.

7. Análisis

- Determinar la conductividad de los dos materiales, utilizando la temperatura tomadas en la prueba. Utilizando el método de interpolación.

8. Bibliografía

- Incropera, F. P. (1999). Fundamentos de Transferencia de Calor (cuarta edición). México: Prentice Hall.
- A., C. Y. (2004). Tansferencia de Calor y Masa. México: Mc Graw Hill Interameri

10.1.2 Guía de Laboratorio 2

Universidad de El Salvador

Faculta de Ingeniería y Arquitectura

Escuela de Ingeniería Mecánica

Asignatura: Transferencia de Calor

Práctica de laboratorio # 2: Determinación de constante de conductividad K de superficie extendidas individuales



Catedrático:

Fecha:

Grupo de Laboratorio:

N° carnet	Apellidos	Nombres	Firma

1. Indicaciones Generales

Se exige puntualidad. Para realizar la práctica de laboratorio y haber leído el manual de usuario de equipo. Deberán portar vestimenta adecuada, la cual consiste en la utilización de gabacha, zapatos cerrados de preferencia zapatos de seguridad y otros implementos que le serán proporcionados según sea necesario.

2. Antecedentes

Se utilizara el marco teórico de la guía de laboratorio #1

3. Objetivos

- Analizar el comportamiento de las aletas en régimen transitorio y estable.
- Verificar cual es la mejor configuración para realizar la mayor transferencia de calor al ambiente en cuanto a: configuración, material y perfil.
- Calcular los perfiles de temperatura y coeficiente de transferencia de calor por convección conociendo la conductividad térmica de cada material.

4. Tiempo requerido

- 100 minutos

5. Instrumentación a utilizar

Equipo de seguridad Industrial

- Guantes resistentes térmicos
- Gabacha

Equipo de trabajo

- Banco de pruebas de superficies extendidas
- Computadora
- Software de medición
- 2 Superficies extendidas individuales (aletas), perfil circular una de aluminio y una de acero AISI 1020.

6. Procedimiento

Para esta práctica de laboratorio se terminará la K de conductividad del material. Se trabajará con dos aletas individuales de diferente material pero de igual perfil. Se realizarán dos pruebas para cada conjunto, en la primera prueba se mantendrá el sensor de la base, el 2 y 4. Se empezará a medir al llegar, la base a una temperatura de 80°C y se apagará el horno y se realizarán nueve tomas de datos, una a cada minuto. Para la siguiente prueba con la misma aleta se utilizará el sensor base, el 1, 3 y 5. Realizando el mismo proceso que en la prueba anterior. Al finalizar la prueba se cambia de perfil de aleta y se realiza el mismo proceso.

Paso a seguir.

- 1) Verifica que los interruptores de cada horno estén en la posición OFF.
- 2) Conecte la placa arduino a la computadora con el cable USB, se encenderán los pilos en la placa.
- 3) Abrir el software de medición, configurar los tiempos de toma de datos.
- 4) Iniciar prueba, editar los datos de prueba y seleccionar los sensores que se van utilizar.
- 5) Colocar las aletas a utilizar en la práctica, sujetándolas de extremos de los perfiles e introduciéndolas en las ranuras de los hornos.
- 6) Conecte a la red eléctrica el banco, conexión 220 voltios. Evite entrar en contacto con las aletas, puede producir quemaduras.
- 7) Colocar los interruptores en la posición ON, automáticamente se encenderán los display de los controladores y se escucha el cierre de las bobinas de los contactores. Los hornos empezarán a calentarse.
- 8) Seleccionar iniciar toma de datos en software cuando la temperatura en el display de controlador marque 250°C.

apagar el horno cuándo el sensor base mida 80°C, colocando el interruptor en la posición OFF, esperar 5 minutos para realizar la toma de datos.

9) Cuando finalicé la toma de datos, guardar la prueba.

10) Seleccionar nueva prueba y selecciona los sensores base, 1,3 y 5.

11) Repetir los literales 7 y 9.

12) Al terminar la prueba esperar 10 minutos

13) Cambiar el perfil, utilizando guantes y sujetando de los extremos la aleta.

14) Repetir los literales desde el 4 al 11.

15) Al terminar la prueba desconectar el banco de superficies extendidas de la conexión a red eléctrica.

7. Análisis

- Determinar la conductividad de los dos materiales, utilizando la temperatura tomadas en la prueba. Utilizando el método de interpolación.

8. Bibliografía

- Incropera, F. P. (1999). Fundamentos de Transferencia de Calor (cuarta edición). México: Prentice Hall.
- A., C. Y. (2004). Tansferencia de Calor y Masa. México: Mc Graw Hill Interamericana.

10.1.3 Guía de Laboratorio 3

Universidad de El Salvador

Faculta de Ingeniería y Arquitectura

Escuela de Ingeniería Mecánica

Asignatura: Transferencia de Calor

Práctica de laboratorio # 3: Comparaciones de perfiles de temperatura de 2 materiales en enfriamiento, perfil de aletas cónico.



Catedrático:

Fecha:

Grupo de Laboratorio:

N° carnet	Apellidos	Nombres	Firma

1. Indicaciones Generales

Se exige puntualidad. Para realizar la práctica de laboratorio y haber leído el manual de usuario de equipo. Deberán portar vestimenta adecuada, la cual consiste en la utilización de gabacha, zapatos cerrados

de preferencia zapatos de seguridad y otros implementos que le serán proporcionados según sea necesario.

2. Antecedentes

Se utilizara el marco teórico de la guía de laboratorio #1

3. Objetivos

- Analizar el comportamiento de las aletas en régimen transitorio y estable.
- Verificar cual es la mejor configuración para realizar la mayor transferencia de calor al ambiente en cuanto a: configuración, material y perfil.
- Calcular los perfiles de temperatura y coeficiente de transferencia de calor por convección conociendo la conductividad térmica de cada material.

4. Tiempo requerido

- 100 minutos

5. Instrumentación a utilizar

Equipo de seguridad Industrial

- Guantes resistentes térmicos
- Gabacha

Equipo de trabajo

- Banco de pruebas de superficies extendidas
- Computadora
- Software de medición
- 2 Superficies extendidas individuales (aletas), perfil cónico una de aluminio y una de acero AISI 1020.
- 2 Superficies extendidas de conjunto (aletas), perfil cónico una de aluminio y una de acero AISI 1020.

6. Procedimiento

Para esta práctica de laboratorio se comparan los perfiles de temperatura de dos materiales: aluminio y acero AISI 1020. Se utilizarán todos los sensores de equipo para medir temperatura.

Se harán uso de los dos hornos, en el de aletas individuales se comparan dos aletas cónicas, así mismo el horno de conjunto.

Será necesario seleccionar todos los sensores en la configuración del software. La temperatura con la que se trabaja es 90°C, se toman datos de los perfiles de temperatura en el proceso de enfriamiento, a cada 1 minuto. Serán 10 tomas de datos.

Paso a seguir.

- 1) Verifica que los interruptores de cada horno estén en la posición OFF.
- 2) Conecte la placa Arduino a la computadora con el cable USB, se encenderán los LEDs en la placa.
- 3) Abrir el software de medición, configurar los tiempos de toma de datos.
- 4) Iniciar prueba, editar los datos de prueba y seleccionar los sensores que se van a utilizar.
- 5) Colocar las aletas a utilizar en la práctica, sujetándolas de los extremos de los perfiles e introduciéndolas en las ranuras de los hornos.
- 6) Conecte a la red eléctrica el banco, conexión 220 voltios. Evite entrar en contacto con las aletas, puede producir quemaduras.
- 7) Colocar los interruptores en la posición ON, automáticamente se encenderán los displays de los controladores y se escucha el cierre de las bobinas de los contactores. Los hornos empezarán a calentarse.

- 8) Seleccionar iniciar toma de datos en software cuando la temperatura en el display de controlador marque 250°C. apagar el horno cuando el sensor base mida 90°C, colocando el interruptor en la posición OFF, esperar 5 minutos para realizar la toma de datos.
- 9) Cuando finalicé la toma de datos, guardar la prueba.
- 10) Esperar que las aletas enfríen durante 10 minutos.
- 11) Cambiar el perfil, utilizando guantes y sujetando de los extremos la aleta.
- 12) Seleccionar nueva prueba e introducir los datos de prueba
- 13) Repetir los literales 7 y 10
- 14) Al terminar la prueba esperar 10 minutos para retirar las aletas con los guantes.
- 15) Al terminar la prueba desconectar el banco de superficies extendidas de la conexión a red eléctrica.

7. Análisis

- Comparar los perfiles de temperatura para cada horno y sus diferentes materiales, determinar cuál es más efectivo y porque.
- Conclusiones
- Comparar los perfiles de temperatura entre los dos hornos y sus diferentes materiales.
- Discutir sobre la eficiencia de cada uno y redactar conclusiones.
- Observaciones

8. Bibliografía

- Incropera, F. P. (1999). Fundamentos de Transferencia de Calor (cuarta edición). México: Prentice Hall.
- A., C. Y. (2004). Tansferencia de Calor y Masa. México: Mc Graw Hill Interamericana.

10.1.4 Guía de Laboratorio 4

Universidad de El Salvador

Faculta de Ingeniería y Arquitectura

Escuela de Ingeniería Mecánica

Asignatura: Transferencia de Calor

Práctica de laboratorio # 4: Comparaciones de perfiles de temperatura de 2 materiales en enfriamiento, perfil de aletas rectangulares.



Catedrático:

Fecha:

Grupo de Laboratorio:

N° carnet	Apellidos	Nombres	Firma

1. Indicaciones Generales

Se exige puntualidad. Para realizar la práctica de laboratorio y haber leído el manual de usuario de equipo. Deberán portar vestimenta adecuada, la cual consiste en la utilización de gabacha, zapatos cerrados

de preferencia zapatos de seguridad y otros implementos que le serán proporcionados según sea necesario.

2. Antecedentes

Se utilizara el marco teórico de la guía de laboratorio #1

3. Objetivos

- Analizar el comportamiento de las aletas en régimen transitorio y estable.
- Verificar cual es la mejor configuración para realizar la mayor transferencia de calor al ambiente en cuanto a: configuración, material y perfil.
- Calcular los perfiles de temperatura y coeficiente de transferencia de calor por convección conociendo la conductividad térmica de cada material.

4. Tiempo requerido

- 100 minutos

5. Instrumentación a utilizar

Equipo de seguridad Industrial

- Guantes resistentes térmicos
- Gabacha

Equipo de trabajo

- Banco de pruebas de superficies extendidas
- Computadora
- Software de medición
- 2 Superficies extendidas individuales (aletas), perfil rectangular una de aluminio y una de acero AISI 1020.
- 2 Superficies extendidas de conjunto (aletas), perfil rectangular una de aluminio y una de acero AISI 1020.

6. Procedimiento

Para esta práctica de laboratorio se comparan los perfiles de temperatura de dos materiales: aluminio y acero AISI 1020. Se utilizarán todos los sensores de equipo para medir temperatura.

Se harán uso de los dos hornos, en el de aletas individuales se comparan dos aletas rectangulares, así mismo el horno de conjunto.

Será necesario seleccionar todos los sensores en la configuración del software. La temperatura con la que se trabaja es 90°C, se toman datos de los perfiles de temperatura en el proceso de enfriamiento, a cada 1 minuto. Serán 10 tomas de datos.

Paso a seguir.

- 1) Verifica que los interruptores de cada horno estén en la posición OFF.
- 2) Conecte la placa arduino a la computadora con el cable USB, se encenderán los pilos en la placa.
- 3) Abrir el software de medición, configurar los tiempos de toma de datos.
- 4) Iniciar prueba, editar los datos de prueba y seleccionar los sensores que se van utilizar.
- 5) Colocar las aletas a utilizar en la práctica, sujetándolas de extremos de los perfiles e introduciéndolas en las ranuras de los hornos.
- 6) Conecte a la red eléctrica el banco, conexión 220 voltios. Evite entrar en contacto con las aletas, puede producir quemaduras.
- 7) Colocar los interruptores en la posición ON, automáticamente se encenderán los displays de los controladores y se escucha el cierre de las bobinas de los contactores. Los hornos empezarán a calentarse.
- 8) Seleccionar iniciar toma de datos en software cuando la temperatura en el display de controlador marque 250°C. apagar el

horno cuándo el sensor base mida 90°C, colocando el interruptor en la posición OFF, esperar 5 minutos para realizar la toma de datos.

9) Cuando finalicé la toma de datos, guardar la prueba.

10) Esperar que las aletas enfríen durante 10 minutos.

11) Cambiar el perfil, utilizando guantes y sujetando de los extremos la aleta.

12) Seleccionar nueva prueba e introducir los datos de prueba

13) Repetir los literales 7 y 10

14) Al terminar la prueba esperar 10 minutos para retirar las aletas con los guantes.

15) Al terminar la prueba desconectar el banco de superficies extendidas de la conexión a red eléctrica.

7. Análisis

- Comparar los perfiles de temperatura para cada horno y sus diferentes materiales, determinar cuál es más efectivo y porque.
- Conclusiones
- Comparar los perfiles de temperatura entre los dos hornos y sus diferentes materiales.
- Discutir sobre la eficiencia de cada uno y redactar conclusiones.
- Observaciones

8. Bibliografía

- Incropera, F. P. (1999). Fundamentos de Transferencia de Calor (cuarta edición). México: Prentice Hall.
- A., C. Y. (2004). Transferencia de Calor y Masa. México: Mc Graw Hill Interamericana.

10.1.5 Guía de Laboratorio 5

Universidad de El Salvador

Faculta de Ingeniería y Arquitectura

Escuela de Ingeniería Mecánica

Asignatura: Transferencia de Calor

Práctica de laboratorio # 5: Comparaciones de perfiles de temperatura de 2 materiales en enfriamiento, perfil de aletas cilíndrico.



Catedrático:

Fecha:

Grupo de Laboratorio:

N° carnet	Apellidos	Nombres	Firma

1. Indicaciones Generales

Se exige puntualidad. Para realizar la práctica de laboratorio y haber leído el manual de usuario de equipo. Deberán portar vestimenta adecuada, la cual consiste en la utilización de gabacha, zapatos cerrados

de preferencia zapatos de seguridad y otros implementos que le serán proporcionados según sea necesario.

2. Antecedentes

Se utilizara el marco teórico de la guía de laboratorio #1

3. Objetivos

- Analizar el comportamiento de las aletas en régimen transitorio y estable.
- Verificar cual es la mejor configuración para realizar la mayor transferencia de calor al ambiente en cuanto a: configuración, material y perfil.
- Calcular los perfiles de temperatura y coeficiente de transferencia de calor por convección conociendo la conductividad térmica de cada material.

4. Tiempo requerido

- 100 minutos

5. Instrumentación a utilizar

Equipo de seguridad Industrial

- Guantes resistentes térmicos
- Gabacha

Equipo de trabajo

- Banco de pruebas de superficies extendidas
- Computadora
- Software de medición
- 2 Superficies extendidas individuales (aletas), perfil cilíndrico una de aluminio y una de acero AISI 1020.
- 2 Superficies extendidas de conjunto (aletas), cilíndrico una de aluminio y una de acero AISI 1020.

6. Procedimiento

Para esta práctica de laboratorio se comparan los perfiles de temperatura de dos materiales: aluminio y acero AISI 1020. Se utilizarán todos los sensores de equipo para medir temperatura. Se hará uso de los dos hornos, en el de aletas individuales se comparan dos aletas cilíndricas, así mismo el horno de conjunto.

Será necesario seleccionar todos los sensores en la configuración del software. La temperatura con la que se trabaja es 90°C, se toman datos de los perfiles de temperatura en el proceso de enfriamiento, a cada 1 minuto. Serán 10 tomas de datos.

Pasos a seguir.

- 1) Verifica que los interruptores de cada horno estén en la posición OFF.
- 2) Conecte la placa arduino a la computadora con el cable USB, se encenderán los pilos en la placa.
- 3) Abrir el software de medición, configurar los tiempos de toma de datos.
- 4) Iniciar prueba, editar los datos de prueba y seleccionar los sensores que se van a utilizar.
- 5) Colocar las aletas a utilizar en la práctica, sujetándolas de extremos de los perfiles e introduciéndolas en las ranuras de los hornos.
- 6) Conecte a la red eléctrica el banco, conexión 220 voltios. Evite entrar en contacto con las aletas, puede producir quemaduras.
- 7) Colocar los interruptores en la posición ON, automáticamente se encenderán los displays de los controladores y se escucha el cierre de las bobinas de los contactores. Los hornos empezarán a calentarse.
- 8) Seleccionar iniciar toma de datos en software cuando la temperatura en el display de controlador marque 250°C. apagar el horno cuando el sensor base mida 90°C, colocando el interruptor

en la posición OFF, esperar 5 minutos para realizar la toma de datos.

9) Cuando finalicé la toma de datos, guardar la prueba.

10) Esperar que las aletas enfríen durante 10 minutos.

11) Cambiar el perfil, utilizando guantes y sujetando de los extremos la aleta.

12) Seleccionar nueva prueba e introducir los datos de prueba

13) Repetir los literales 7 y 10

14) Al terminar la prueba esperar 10 minutos para retirar las aletas con los guantes.

15) Al terminar la prueba desconectar el banco de superficies extendidas de la conexión a red eléctrica.

7. Análisis

- Comparar los perfiles de temperatura para cada horno y sus diferentes materiales, determinar cuál es más efectivo y porque.
- Conclusiones
- Comparar los perfiles de temperatura entre los dos hornos y sus diferentes materiales.
- Discutir sobre la eficiencia de cada uno y redactar conclusiones.
- Observaciones

8. Bibliografía

- Incropera, F. P. (1999). Fundamentos de Transferencia de Calor (cuarta edición). México: Prentice Hall.
- A., C. Y. (2004). Transferencia de Calor y Masa. México: Mc Graw Hill Interamericana.

10.1.6 Guía de Laboratorio 6

Universidad de El Salvador

Faculta de Ingeniería y Arquitectura

Escuela de Ingeniería Mecánica

Asignatura: Transferencia de Calor

Práctica de laboratorio # 6: Comparaciones de perfiles de temperatura en calentamiento de 2 materiales, perfil de aletas cilíndrico.



Catedrático:

Fecha:

Grupo de Laboratorio:

N° carnet	Apellidos	Nombres	Firma

1. Indicaciones Generales

Se exige puntualidad. Para realizar la práctica de laboratorio y haber leído el manual de usuario de equipo. Deberán portar vestimenta adecuada, la cual consiste en la utilización de gabacha, zapatos cerrados

de preferencia zapatos de seguridad y otros implementos que le serán proporcionados según sea necesario.

2. Antecedentes

Se utilizara el marco teórico de la guía de laboratorio #1

3. Objetivos

- Analizar el comportamiento de las aletas en régimen transitorio y estable.
- Verificar cual es la mejor configuración para realizar la mayor transferencia de calor al ambiente en cuanto a: configuración, material y perfil.
- Calcular los perfiles de temperatura y coeficiente de transferencia de calor por convección conociendo la conductividad térmica de cada material.

4. Tiempo requerido

- 100 minutos

5. Instrumentación a utilizar

Equipo de seguridad Industrial

- Guantes resistentes térmicos
- Gabacha

Equipo de trabajo

- Banco de pruebas de superficies extendidas
- Computadora
- Software de medición
- 2 Superficies extendidas individuales (aletas), perfil cilíndrico una de aluminio y una de acero AISI 1020.
- 2 Superficies extendidas de conjunto (aletas), cilíndrico una de aluminio y una de acero AISI 1020.

6. Procedimiento

Para esta práctica de laboratorio se comparan los perfiles de temperatura de dos materiales, en el proceso de calentamiento, aluminio y acero AISI 1020 son materiales a usar. Se utilizarán todos los sensores de equipo para medir temperatura. Se hará uso de los dos hornos, en el de aletas individuales se comparan dos aletas cilíndricas, así mismo el horno de conjunto.

Será necesario seleccionar todos los sensores en la configuración del software. La temperatura a la cual se pretende llegar es 90°C, se toman datos de los perfiles de temperatura en el proceso de calentamiento, a partir de 5 minutos de precalentamiento, se realizan 10 mediciones, una cada 2 minutos. Es necesario configurar el tiempo en el software para la toma de datos.

Paso a seguir.

- 1) Verifica que los interruptores de cada horno estén en la posición OFF.
- 2) Conecte la placa arduino a la computadora con el cable USB, se encenderán los pilos en la placa.
- 3) Abrir el software de medición, configurar los tiempos de toma de datos.
- 4) Iniciar prueba, editar los datos de prueba y seleccionar los sensores que se van utilizar.
- 5) Colocar las aletas a utilizar en la práctica, sujetándolas de extremos de los perfiles e introduciéndolas en las ranuras de los hornos.
- 6) Conecte a la red eléctrica el banco, conexión 220 voltios. Evite entrar en contacto con las aletas, puede producir quemaduras.
- 7) Colocar los interruptores en la posición ON, automáticamente se encenderán los display de los controladores y se escucha el cierre

de la bobinas de los contactores. Los hornos empezaran a calentar.

- 8) Esperar 5 minutos para iniciar toma de datos en el software. Apagar el horno cuándo el sensor base mida 90°C, colocando el interruptor en la posición OFF.
- 9) Cuando finalicé la toma de datos, guardar la prueba.
- 10) Esperar que las aletas enfríen durante 10 minutos.
- 11) Cambiar el perfil, utilizando guantes y sujetando de los extremos la aleta.
- 12) Seleccionar nueva prueba e introducir los datos de prueba
- 13) Repetir los literales 7 y 10
- 14) Al terminar la prueba esperar 10 minutos para retirar las aletas con los guantes.
- 15) Al terminar la prueba desconectar el banco de superficies extendidas de la conexión a red eléctrica.

7. Análisis

- Comparar los perfiles de temperatura para cada horno y sus diferentes materiales en proceso de calentamiento.
- Conclusiones
- Comparar los perfiles de temperatura entre los dos hornos y sus diferentes materiales.
- Discutir sobre la eficiencia de cada uno y redactar conclusiones.
- Observaciones

8. Bibliografía

- Incropera, F. P. (1999). Fundamentos de Transferencia de Calor (cuarta edición). México: Prentice Hall.
- A., C. Y. (2004). Tansferencia de Calor y Masa. México: Mc Graw Hill Interamericana.

10.1.7 Guía de Laboratorio 7

Universidad de El Salvador

Faculta de Ingeniería y Arquitectura

Escuela de Ingeniería Mecánica

Asignatura: Transferencia de Calor

Práctica de laboratorio # 7: Comparaciones de perfiles de temperatura en calentamiento de 2 materiales, perfil de aletas cónico.



Catedrático:

Fecha:

Grupo de Laboratorio:

N° carnet	Apellidos	Nombres	Firma

1. Indicaciones Generales

Se exige puntualidad. Para realizar la práctica de laboratorio y haber leído el manual de usuario de equipo. Deberán portar vestimenta adecuada, la cual consiste en la utilización de gabacha, zapatos cerrados

de preferencia zapatos de seguridad y otros implementos que le serán proporcionados según sea necesario.

2. Antecedentes

Se utilizara el marco teórico de la guía de laboratorio #1

3. Objetivos

- Analizar el comportamiento de las aletas en régimen transitorio y estable.
- Verificar cual es la mejor configuración para realizar la mayor transferencia de calor al ambiente en cuanto a: configuración, material y perfil.
- Calcular los perfiles de temperatura y coeficiente de transferencia de calor por convección conociendo la conductividad térmica de cada material.

4. Tiempo requerido

- 100 minutos

5. Instrumentación a utilizar

Equipo de seguridad Industrial

- Guantes resistentes térmicos
- Gabacha

Equipo de trabajo

- Banco de pruebas de superficies extendidas
- Computadora
- Software de medición
- 2 Superficies extendidas individuales (aletas), perfil cónico una de aluminio y una de acero AISI 1020.
- 2 Superficies extendidas de conjunto (aletas), cónico una de aluminio y una de acero AISI 1020.

6. Procedimiento

Para esta práctica de laboratorio se comparan los perfiles de temperatura de dos materiales, en el proceso de calentamiento, aluminio y acero AISI 1020 son materiales a usar. Se utilizarán todos los sensores de equipo para medir temperatura.

Se harán uso de los dos hornos, en el de aletas individuales se comparan dos aletas cilíndricas, así mismo el horno de conjunto.

Será necesario seleccionar todos los sensores en la configuración del software. La temperatura a la cual se pretende llegar es 90°C, se toman datos de los perfiles de temperatura en el proceso de calentamiento, a partir de 5 minutos de precalentamiento, se realizan 10 mediciones, una cada 2 minutos. Es necesario configurar el tiempo en el software para la toma de datos.

Paso a seguir.

- 1) Verifica que los interruptores de cada horno estén en la posición OFF.
- 2) Conecte la placa arduino a la computadora con el cable USB, se encenderán los pilos en la placa.
- 3) Abrir el software de medición, configurar los tiempos de toma de datos.
- 4) Iniciar prueba, editar los datos de prueba y seleccionar los sensores que se van utilizar.
- 5) Colocar las aletas a utilizar en la práctica, sujetándolas de extremos de los perfiles e introduciéndolas en las ranuras de los hornos.
- 6) Conecte a la red eléctrica el banco, conexión 220 voltios. Evite entrar en contacto con las aletas, puede producir quemaduras.
- 7) Colocar los interruptores en la posición ON, automáticamente se encenderán los display de los controladores y se escucha el cierre

de la bobinas de los contactores. Los hornos empezaran a calentar.

- 8) Esperar 5 minutos para iniciar toma de datos en el software. Apagar el horno cuándo el sensor base mida 90°C, colocando el interruptor en la posición OFF.
- 9) Cuando finalicé la toma de datos, guardar la prueba.
- 10) Esperar que las aletas enfríen durante 10 minutos.
- 11) Cambiar el perfil, utilizando guantes y sujetando de los extremos la aleta.
- 12) Seleccionar nueva prueba e introducir los datos de prueba
- 13) Repetir los literales 7 y 10
- 14) Al terminar la prueba esperar 10 minutos para retirar las aletas con los guantes.
- 15) Al terminar la prueba desconectar el banco de superficies extendidas de la conexión a red eléctrica.

7. Análisis

- Comparar los perfiles de temperatura para cada horno y sus diferentes materiales en proceso de calentamiento.
- Conclusiones
- Comparar los perfiles de temperatura entre los dos hornos y sus diferentes materiales.
- Discutir sobre la eficiencia de cada uno y redactar conclusiones.
- Observaciones

8. Bibliografía

- Incropera, F. P. (1999). Fundamentos de Transferencia de Calor (cuarta edición). México: Prentice Hall.
- A., C. Y. (2004). Tansferencia de Calor y Masa. México: Mc Graw Hill Interamericana.

10.1.8 Guía de Laboratorio 8

Universidad de El Salvador

Faculta de Ingeniería y Arquitectura

Escuela de Ingeniería Mecánica

Asignatura: Transferencia de Calor

Práctica de laboratorio # 8: Comparaciones de perfiles de temperatura en calentamiento de 2 materiales, perfil de aletas rectangular.



Catedrático:

Fecha:

Grupo de Laboratorio:

N° carnet	Apellidos	Nombres	Firma

1. Indicaciones Generales

Se exige puntualidad. Para realizar la práctica de laboratorio y haber leído el manual de usuario de equipo. Deberán portar vestimenta adecuada, la cual consiste en la utilización de gabacha, zapatos cerrados

de preferencia zapatos de seguridad y otros implementos que le serán proporcionados según sea necesario.

2. Antecedentes

Se utilizara el marco teórico de la guía de laboratorio #1

3. Objetivos

- Analizar el comportamiento de las aletas en régimen transitorio y estable.
- Verificar cual es la mejor configuración para realizar la mayor transferencia de calor al ambiente en cuanto a: configuración, material y perfil.
- Calcular los perfiles de temperatura y coeficiente de transferencia de calor por convección conociendo la conductividad térmica de cada material.

4. Tiempo requerido

- 100 minutos

5. Instrumentación a utilizar

Equipo de seguridad Industrial

- Guantes resistentes térmicos
- Gabacha

Equipo de trabajo

- Banco de pruebas de superficies extendidas
- Computadora
- Software de medición
- 2 Superficies extendidas individuales (aletas), perfil rectangular una de aluminio y una de acero AISI 1020.
- 2 Superficies extendidas de conjunto (aletas), rectangular una de aluminio y una de acero AISI 1020.

6. Procedimiento

Para esta práctica de laboratorio se comparan los perfiles de temperatura de dos materiales, en el proceso de calentamiento, aluminio y acero AISI 1020 son materiales a usar. Se utilizarán todos los sensores de equipo para medir temperatura.

Se harán uso de los dos hornos, en el de aletas individuales se comparan dos aletas cilíndricas, así mismo el horno de conjunto.

Será necesario seleccionar todos los sensores en la configuración del software. La temperatura a la cual se pretende llegar es 90°C, se toman datos de los perfiles de temperatura en el proceso de calentamiento, a partir de 5 minutos de precalentamiento, se realizan 10 mediciones, una cada 2 minutos. Es necesario configurar el tiempo en el software para la toma de datos.

Paso a seguir.

- 1) Verifica que los interruptores de cada horno estén en la posición OFF.
- 2) Conecte la placa arduino a la computadora con el cable USB, se encenderán los pilos en la placa.
- 3) Abrir el software de medición, configurar los tiempos de toma de datos.
- 4) Iniciar prueba, editar los datos de prueba y seleccionar los sensores que se van utilizar.
- 5) Colocar las aletas a utilizar en la práctica, sujetándolas de extremos de los perfiles e introduciéndolas en las ranuras de los hornos.
- 6) Conecte a la red eléctrica el banco, conexión 220 voltios. Evite entrar en contacto con las aletas, puede producir quemaduras.
- 7) Colocar los interruptores en la posición ON, automáticamente se encenderán los displays de los controladores y se escucha el cierre

de la bobinas de los contactores. Los hornos empezaran a calentar.

- 8) Esperar 5 minutos para iniciar toma de datos en el software. Apagar el horno cuándo el sensor base mida 90°C, colocando el interruptor en la posición OFF.
- 9) Cuando finalicé la toma de datos, guardar la prueba.
- 10) Esperar que las aletas enfríen durante 10 minutos.
- 11) Cambiar el perfil, utilizando guantes y sujetando de los extremos la aleta.
- 12) Seleccionar nueva prueba e introducir los datos de prueba
- 13) Repetir los literales 7 y 10
- 14) Al terminar la prueba esperar 10 minutos para retirar las aletas con los guantes.
- 15) Al terminar la prueba desconectar el banco de superficies extendidas de la conexión a red eléctrica.

7. Análisis

- Comparar los perfiles de temperatura para cada horno y sus diferentes materiales en proceso de calentamiento.
- Conclusiones
- Comparar los perfiles de temperatura entre los dos hornos y sus diferentes materiales.
- Discutir sobre la eficiencia de cada uno y redactar conclusiones.
- Observaciones

8. Bibliografía

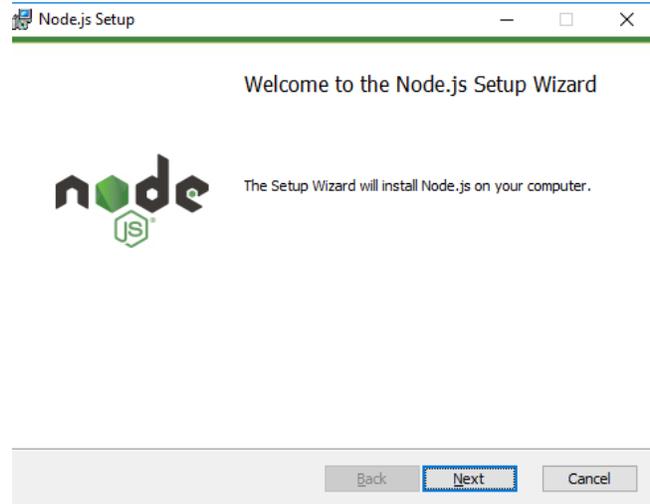
- Incropera, F. P. (1999). Fundamentos de Transferencia de Calor (cuarta edición). México: Prentice Hall.
- A., C. Y. (2004). Tansferencia de Calor y Masa. México: Mc Graw Hill Interamericana.

10.2 Manual de Instalación y Manejo de la aplicación

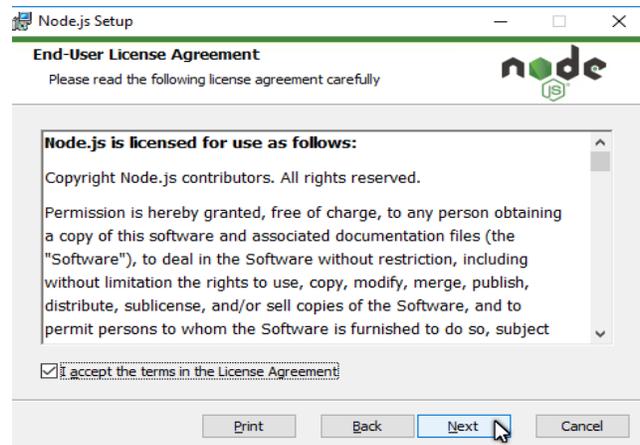
Manual de Instalación.

Instalación de Node JS.

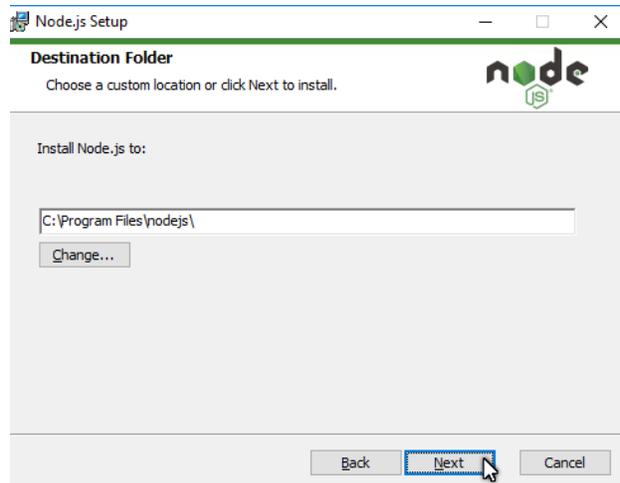
Para iniciar la instalación de Node js se debe iniciar el archivo de instalación que se encuentra en la carpeta de instaladores, al iniciar se mostrará esta ventana donde debe pulsar el botón next.



Debe aceptar los términos y condiciones y presionar el botón next.



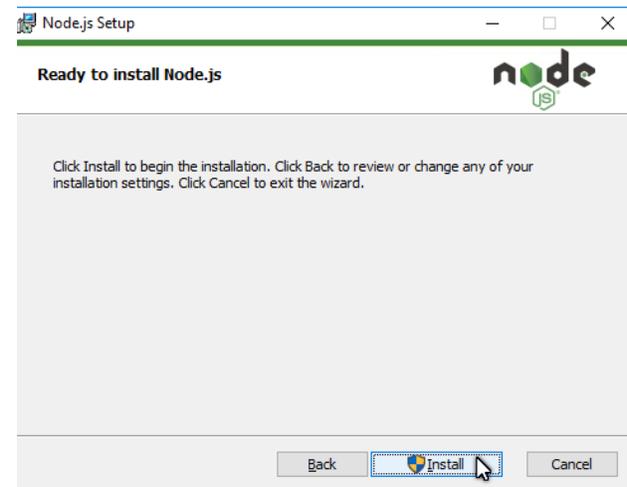
Si se desea cambiar el directorio donde se instalara Node js puede pulsar el botón Change, en caso contrario pulsar next.



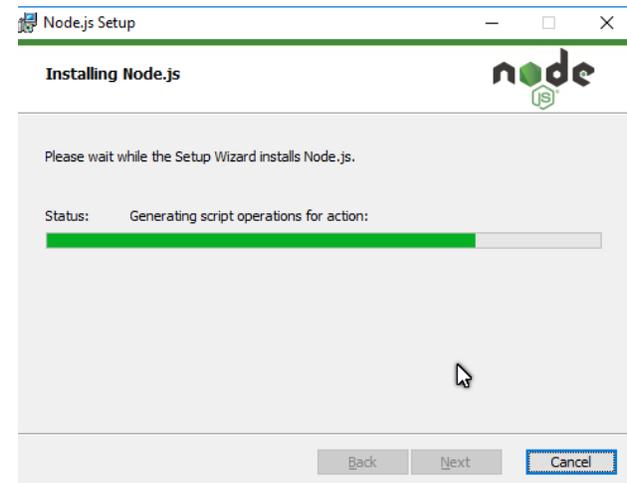
En esta parte se pueden ajustar las configuraciones de la instalación, se recomienda no modificar nada y presionar next.



Presionar Install para que inicie la instalación, al presionar el botón pedirá permisos de super usuario, al otorgarle permiso iniciara la instalación.



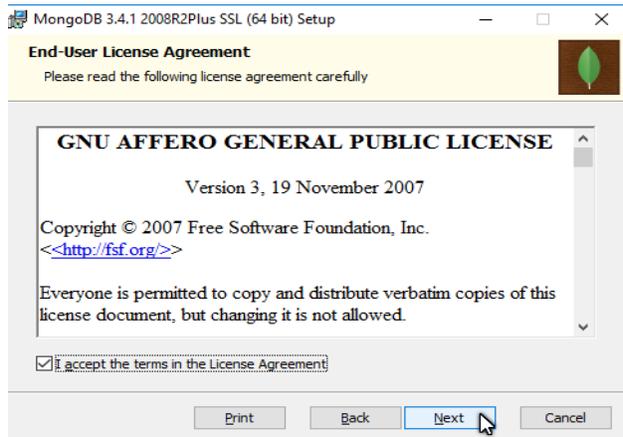
Iniciará el proceso de instalación de Node JS, el cual durara un breve momento. Al finalizar Node JS estará instalado en el sistema.



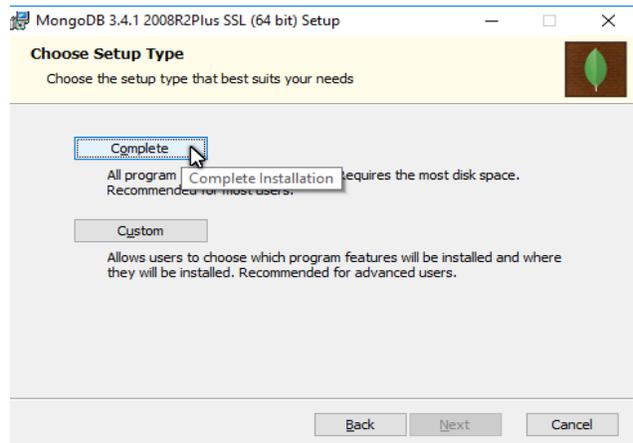
Instalación de MongoDB

Para iniciar la instalación del gestor de bases de datos MongoDB se debe iniciar el archivo de instalación que se encuentra en la carpeta de instaladores, al iniciar se mostrara esta ventana donde debe pulsar el botón next.

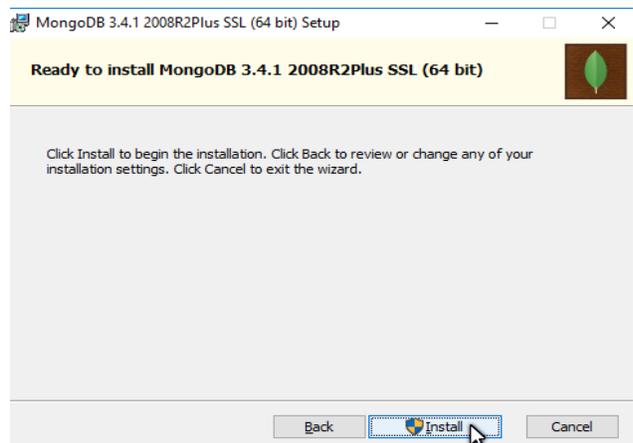
Se deben aceptar los términos y condiciones y luego se presiona el botón next.



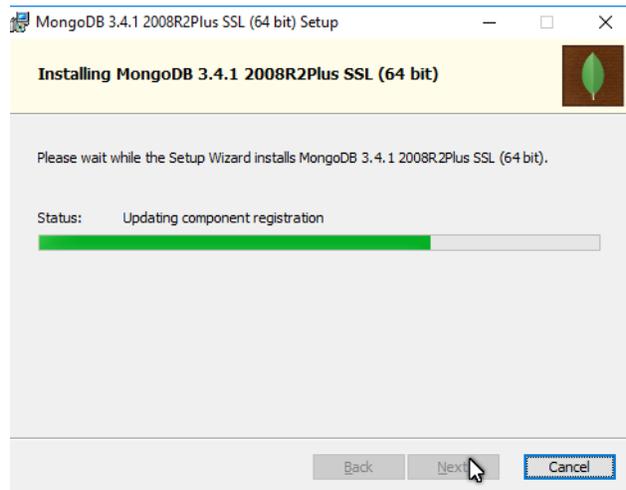
Seleccionar el tipo de instalación completa (Complete) y presionar Next.



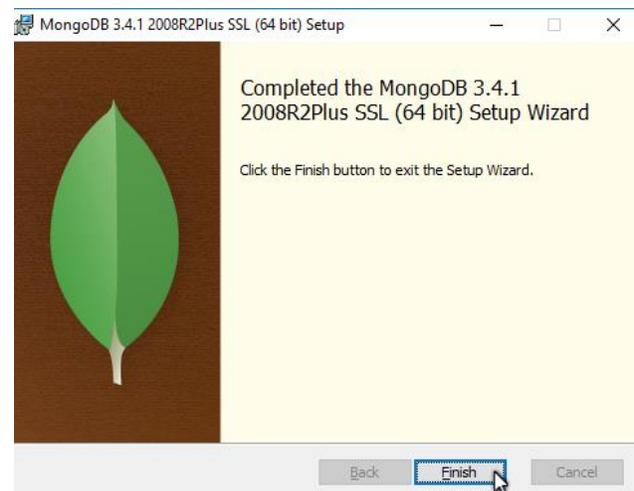
Para iniciar la instalación debe presionar Install y le otorgamos permisos de administrador.



Luego de otorgarle permisos para la instalación, esta se tardara unos minutos hasta estar instalado en el sistema, luego presionar el botón next.



Para finalizar la instalación pulsar Finish.



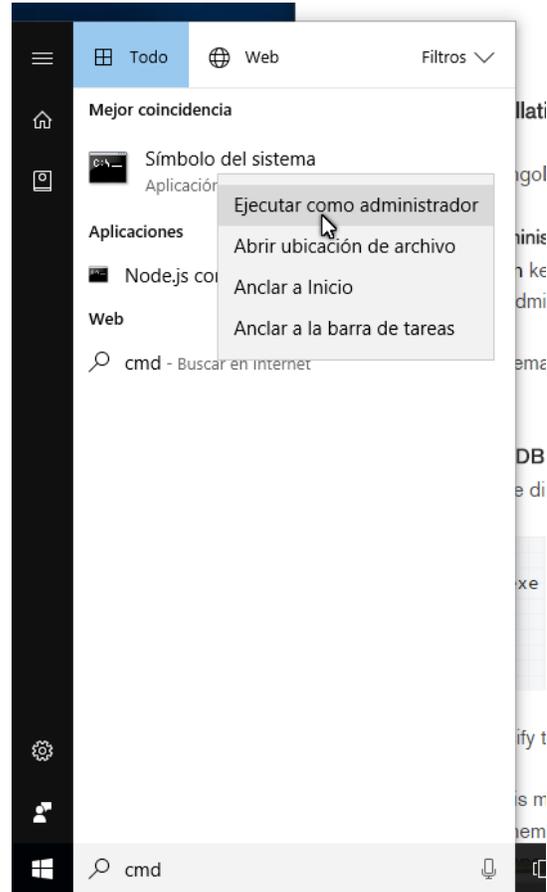
Configuración de MongoDB

Luego de instalar el gestor de bases de datos MongoDB es necesario configurarlo.

Primero se debe configurar el entorno y el servicio, para ello:

Pulsar el botón inicio y escribir “cmd”, luego presionar click derecho sobre la aplicación “Símbolo del sistema” y elegir “Ejecutar como administrador”.

Obtener permisos de administrador, al otorgárselos se abrirá una consola de Windows.

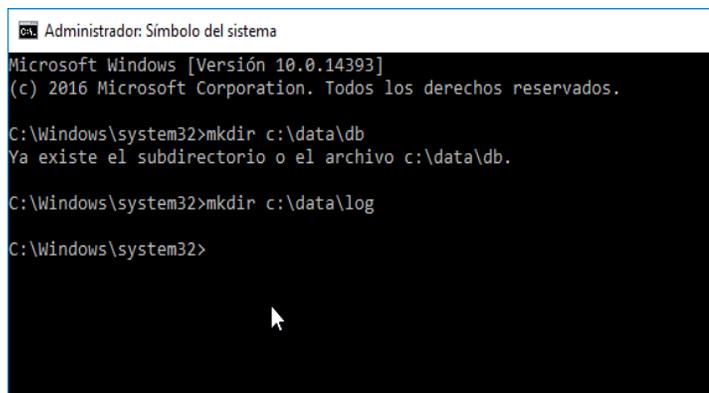


Crear 2 carpetas con los comandos:

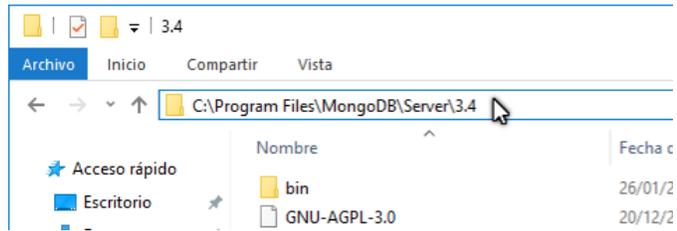
```
mkdir c:\data\db
```

```
mkdir c:\data\log
```

después de introducir un comando pulsar el botón Enter.



Al configurar una dirección diferente para la instalación debe ubicarla porque la necesitaremos luego.

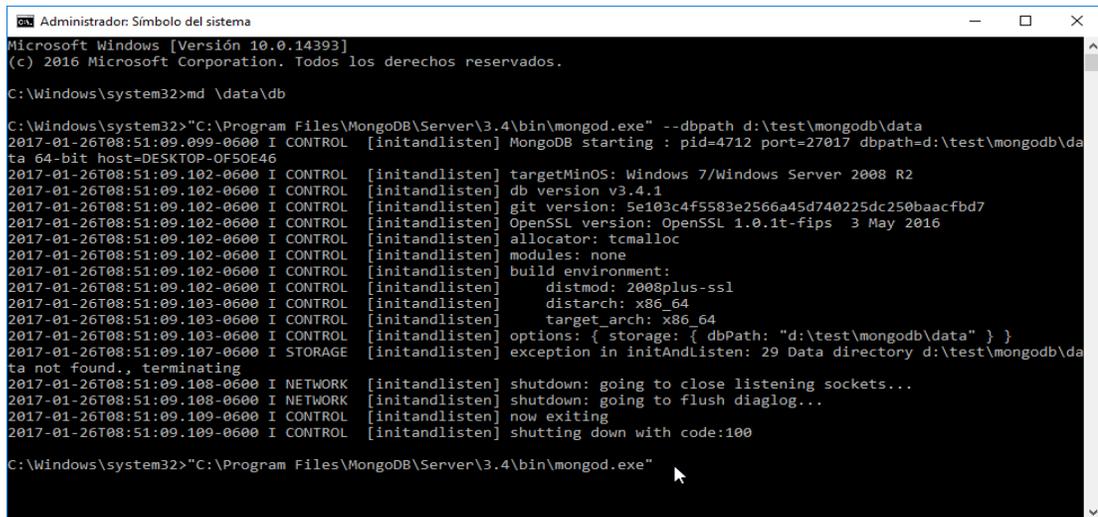


Luego ejecutar el comando:

```
"C:\Program Files\MongoDB\Server\3.4\bin\mongod.exe" --dbpath  
d:\test\mongodb\data
```

Después el comando:

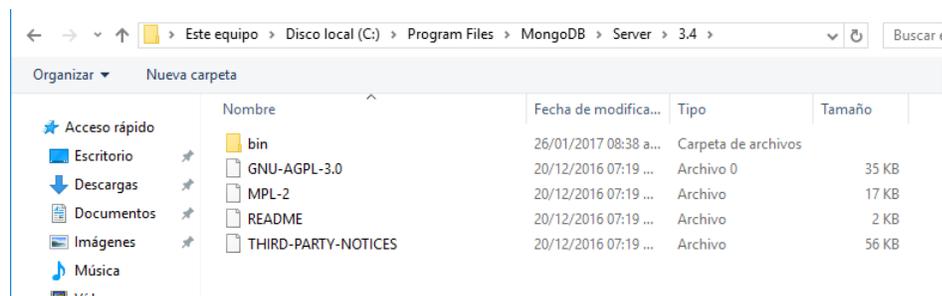
```
"C:\Program Files\MongoDB\Server\3.4\bin\mongod.exe"
```



Para ello, se deben otorgar los permisos para iniciar el servicio en la red, pulsamos permitir acceso.



Copiamos el archivo mongod.cfg a la ruta donde está instalado mongodb.

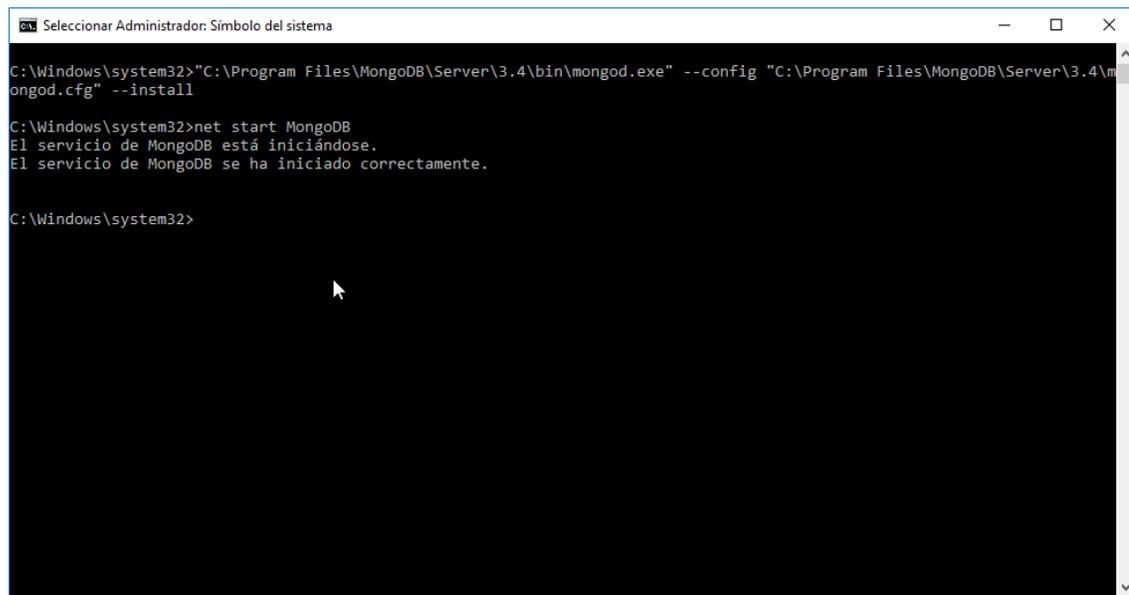


Después crear el servicio con el comando:

```
"C:\Program Files\MongoDB\Server\3.4\bin\mongod.exe" --config "C:\Program Files\MongoDB\Server\3.4\mongod.cfg" --install
```

Luego debe iniciarlo con:

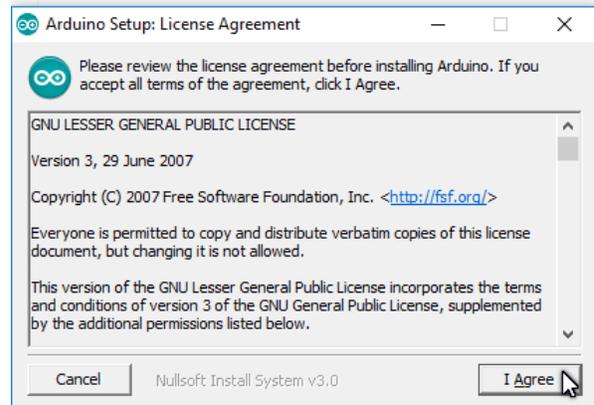
```
net start MongoDB
```



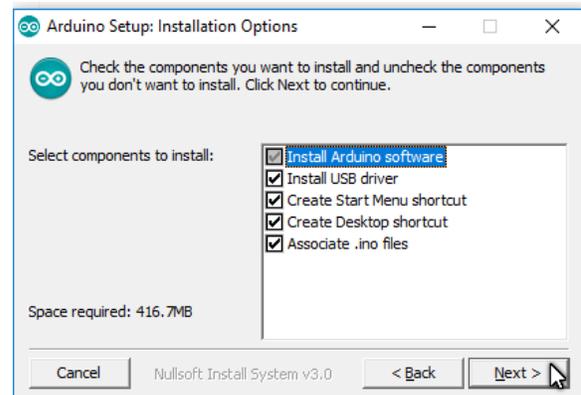
De esta manera se instala y configura MongoDB en nuestro sistema.

Instalación de Arduino.

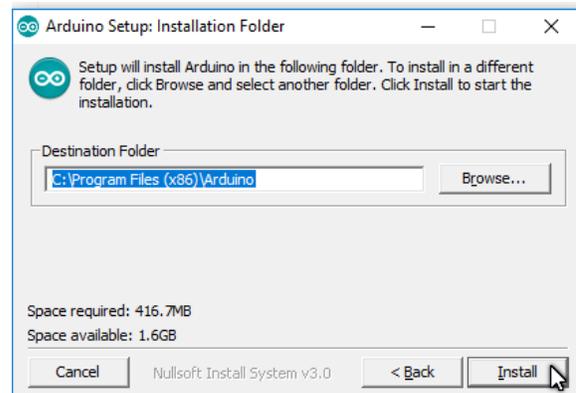
Al iniciar la instalación pedirá aceptar los términos y condiciones de uso, presionar “I Agree”.



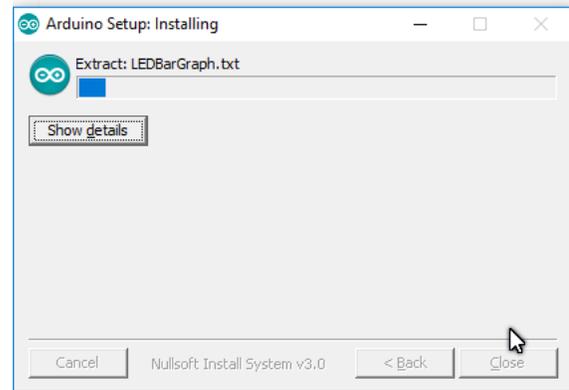
Se debe mantener la configuración de instalación como se encuentra y a continuación presionar Next.



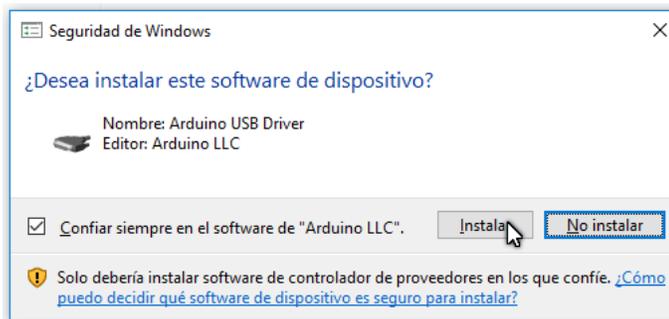
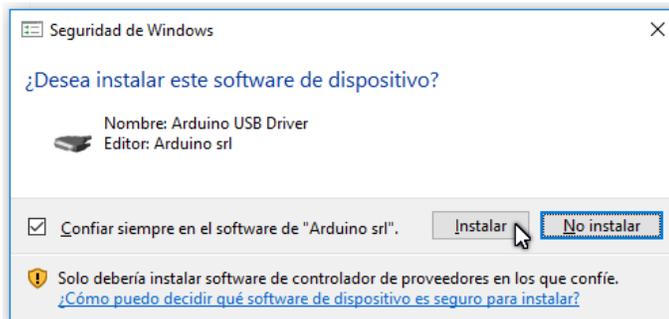
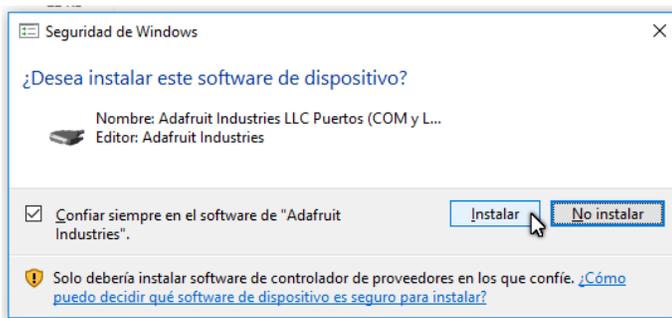
Seleccionar la ruta a donde se instalara y presionar Install.



Esperar a que finalice la instalación y pulsar Close.



Mientras se instala el programa, este pedirá confirmación para instalar los controladores, presionar Instalar en todos los casos.

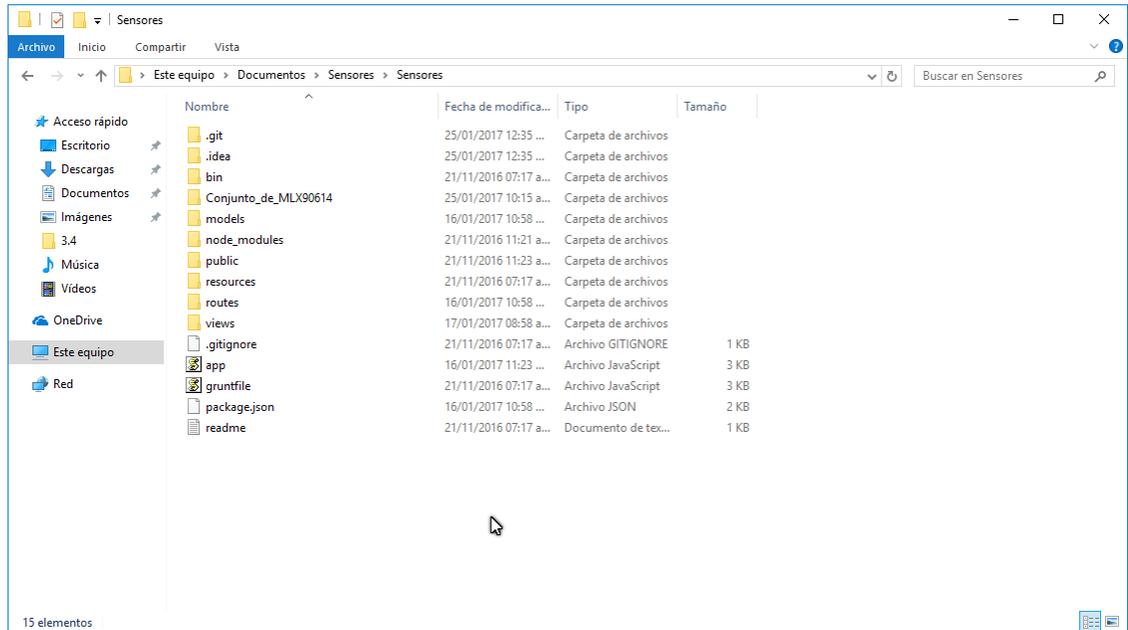


Luego de finalizar la instalación de controladores finalizara la instalación de Arduino.

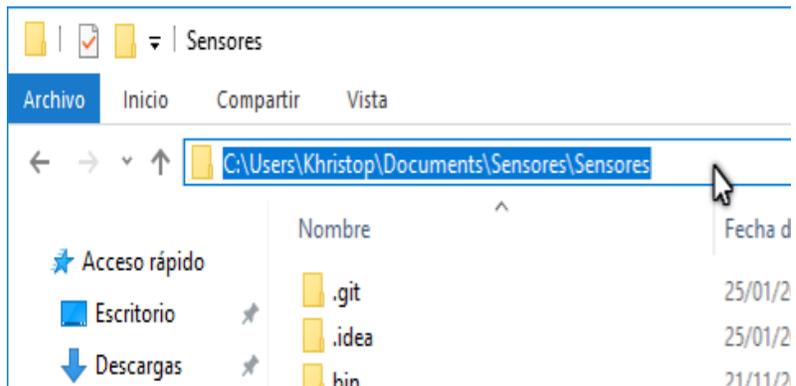
Al conectar un arduino Windows iniciará el reconocimiento del dispositivo, luego de esto pedirá acceso a la red.

Instalación y ejecución de la aplicación.

Para este paso, se debe de haber instalado todo lo anterior y tener en una carpeta la aplicación.



En una consola nos dirigimos a la dirección de la aplicación, para esto debemos copiar la dirección anterior



Entonces debe situarse sobre el icono de “instalador de librerías.bat” y presionar doble click izquierdo, esperar a que las librerías se instalen (Para este paso se debe contar con acceso a internet). Esperar por unos minutos a que la instalación finalice.

```
cmd npm
Microsoft Windows [Versión 10.0.14393]
(c) 2016 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\Christopher>cd C:\Users\Christopher\WebstormProjects\Sensores

C:\Users\Christopher\WebstormProjects\Sensores>npm install
[.....] - fetchMetadata: sill install loadAllDepsIntoIdealTree
```

A continuación presionar doble click izquierdo sobre el ícono “iniciar.bat” y posteriormente se espera un momento a que aparezca el mensaje “puerto abierto”.

```
cmd npm
Microsoft Windows [Versión 10.0.14393]
(c) 2016 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\Christopher>cd C:\Users\Christopher\WebstormProjects\Sensores

C:\Users\Christopher\WebstormProjects\Sensores>npm install
npm WARN optional SKIPPING OPTIONAL DEPENDENCY: fsevents@^1.0.0 (node_modules
npm WARN notsup SKIPPING OPTIONAL DEPENDENCY: Unsupported platform for fs
y"} (current: {"os":"win32","arch":"x64"})
npm WARN grunt-express@1.4.1 requires a peer of grunt@~0.4.0 but none was

C:\Users\Christopher\WebstormProjects\Sensores>npm start

> sensores@0.0.0 start C:\Users\Christopher\WebstormProjects\Sensores
> nodemon ./bin/www

[nodemon] 1.11.0
[nodemon] to restart at any time, enter `rs`
[nodemon] watching: *.*
[nodemon] starting `node ./bin/www`
puerto abierto
```

Luego iniciar la aplicación realizando doble click sobre el icono “Abrir aplicación”

Esto iniciara la aplicación, para usarla es necesario usar un navegador web(de preferencia Chrome) y dirigirse a la dirección:

localhost:3000/inicio/

Asi tendremos acceso a la aplicación.



Recomendaciones

- Aumentar la cantidad de guías de laboratorio para el Banco de Pruebas de Superficies Extendidas, con el propósito de ampliar los conocimientos de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica, con la práctica y experimentación en la transferencia de calor a través de superficies extendidas.
- Para experimentación con las aletas de aluminio se recomienda, no exceder la temperatura de 100 °C, en tiempos mayores de 15 a 20 minutos, porque se produce pandeo en la placa base, debido a las propiedades mecánicas que posee. Este fenómeno se observó en las aletas de conjunto cilíndricas, la cual por la cantidad de mayor área en los perfiles de las aletas, produjo flexión hacia el extremo contrario a la base, al estar sometida a una temperatura de 140°C tiempos mayores del mencionado anteriormente.
- Fabricar superficies extendidas de otro tipo de material para aumentar el conocimiento sobre transferencia de calor en los diferentes materiales.
- Exigirle a los estudiantes que se comporten de la mejor manera posible durante las prácticas de laboratorio debido al riesgo que se tiene de sufrir quemaduras si entran en contacto con las aletas durante las prácticas de laboratorio.
- Modificar el control de temperatura de los hornos calefactores de forma manual a automática por medio de software, utilizando la interfaz de Arduino y el software; para facilitar el desarrollo de las prácticas de las guías de laboratorio.
- Diseñar una aleta solidaria, que permita poder acoplar nuevos diseños de perfiles de aleta de manera fácil y rápida. De esta manera disminuir los costos de construcción de dichos perfiles y aumentar la cantidad de guías de laboratorio.

- Diseñar otro tipo de perfil de aletas ya sea radial o longitudinal para conocer la tendencia del perfil de temperatura que se produce al realizar la transferencia calor en superficies extendidas.

Conclusiones

- Como aislante se usa porcelana para cerámica y aire confinado en cavidades dentro de los calefactores, resultando de esta manera una construcción menos robusta que si solo se usara el material aislante, pero fue necesario recubrir los hornos con fibra de vidrio, para evitar fugas de calor.
- Las potencia para las resistencias eléctricas calefactoras dentro de los recintos, son de 1000 W para la sección individual, permitiendo que la temperatura pueda aumentar más rápido hasta la deseada, debido a la menor cantidad de área que está directamente en contacto con ambiente, menor cantidad de transferencia de calor. Para la sección de conjunto se tienen 2000 W debido a la gran cantidad de transferencia de calor al ambiente, produciendo que el horno requiera más tiempo para llegar a una temperatura deseada y que la estabilidad de la de horno sea menor.
- El equipo solo puede trabajar con aletas cuya longitud máxima es de 300mm.
- Las placas bases de las aletas deben tener dimensiones establecidas de 3x3 pulg para el calefactor individual y de 9x9 pulg para el calefactor en conjunto.
- Se logró diseñar un software capaz de mostrar en tiempo real y almacenar los perfiles de temperatura de los diferentes tipos de superficies extendidas.

- Se determinó que las aletas cilíndricas de aluminio son mucho más eficientes en la transferencia de calor hacia el ambiente, que las aletas cónicas, cuadradas de aluminio y acero AISI 1020, así como también de las cilíndricas de acero, esto debido a la conductividad térmica del material, mayor área superficial y la incidencia del aire sobre esta.
- La temperatura de la placa base para las aletas no es uniforme en la superficie debido a que el flujo de calor generado por las resistencias no es uniforme.
- El tiempo necesario para el calentamiento del equipo tanto del recinto como de las superficies extendidas es mayor al esperado, ya que el tiempo necesario para que las aletas presenten cambio de temperatura desde la base hasta el extremo más alejado es de 20min.
- Al requerir la elaboración de otros tipos de aletas de diferente material, también es posible que la longitud de las aletas sean menores a 300mm debido a la posibilidad de utilizar el número de sensores que se crean convenientes.

Glosario

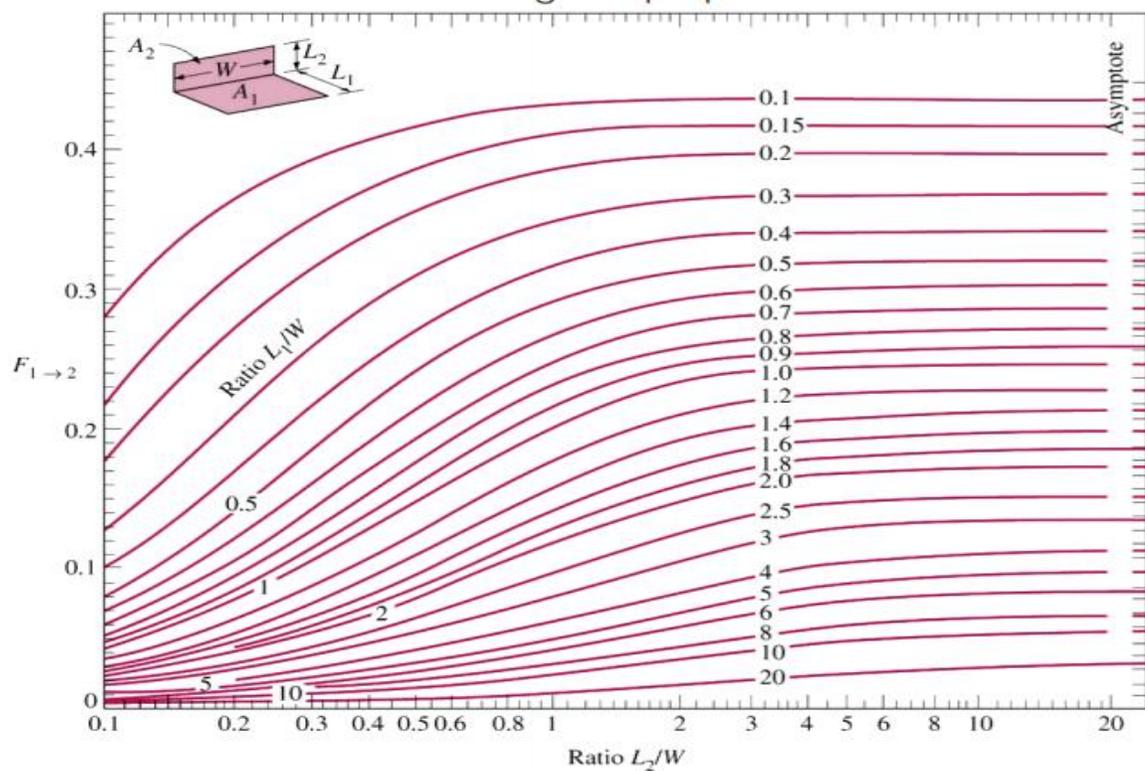
- **Didáctica Universitaria:** ámbito de conocimiento y comunicación que se ocupa del arte de enseñar en la universidad.
- **Medio Didáctico:** elemento, aparato o representación que se emplea en una situación de enseñanza – aprendizaje para proveer información o facilitar la organización didáctica del mensaje que se desea comunicar en una sesión de enseñanza – aprendizaje.
- **Materiales Didácticos:** constituyen elementos concretos, físicos, que portan los mensajes educativos, a través de uno o más canales de comunicación, y se utilizan en distintos momentos o fases del proceso de enseñanza – aprendizaje.
- **Transferencia de Calor:** proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura.
- **La conducción:** es el mecanismo de transferencia de calor a través de un material fijo.
- **La convección:** es el mecanismo de transferencia de calor entre partes relativamente calientes y frías de un fluido por medio de mezcla.
- **La radiación:** consiste en la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material.
- **El coeficiente de conductividad térmica:** es una característica de cada sustancia y expresa la magnitud de su capacidad de conducir el calor. Se expresa en $W/h.m.K$.
- **El coeficiente de convección:** cuantifica la influencia de las propiedades del fluido, de la superficie y del flujo cuando se produce transferencia de calor por convección. Se expresa en W/m^2 .

- **El coeficiente de emisividad:** es un número adimensional que relaciona la habilidad de un objeto real para irradiar energía térmica, con la habilidad de irradiar si éste fuera un cuerpo negro.
- **La constante de Stefan-Boltzmann:** constante física utilizada en la ley de Stefan-Boltzmann. Cuyo valor es $5.670373 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$.
- **Superficie extendida:** sólido que experimenta transferencia de energía por conducción dentro de sus límites, así como transferencia de calor por convección e irradiación entre sus límites y los alrededores.
- **Eficiencia de aletas:** es la relación entre el calor disipado por la aleta en la unidad de tiempo y el que disiparía si toda ella estuviera a la temperatura de la base.
- **Admitancia de entrada:** parámetro que proporciona información directa del calor disipado en función de la sobre temperatura en la base de las aletas (driving force).
- **Factor de aumento:** sistemas aleta-pared sometidos a convección y radiación y mide el aumento de calor que se obtiene en una pared al añadir una aleta.
- **Efectividad global de superficie proyectada:** relación entre el calor disipado por una superficie con aletas y el que disipa la misma superficie sin aletas.

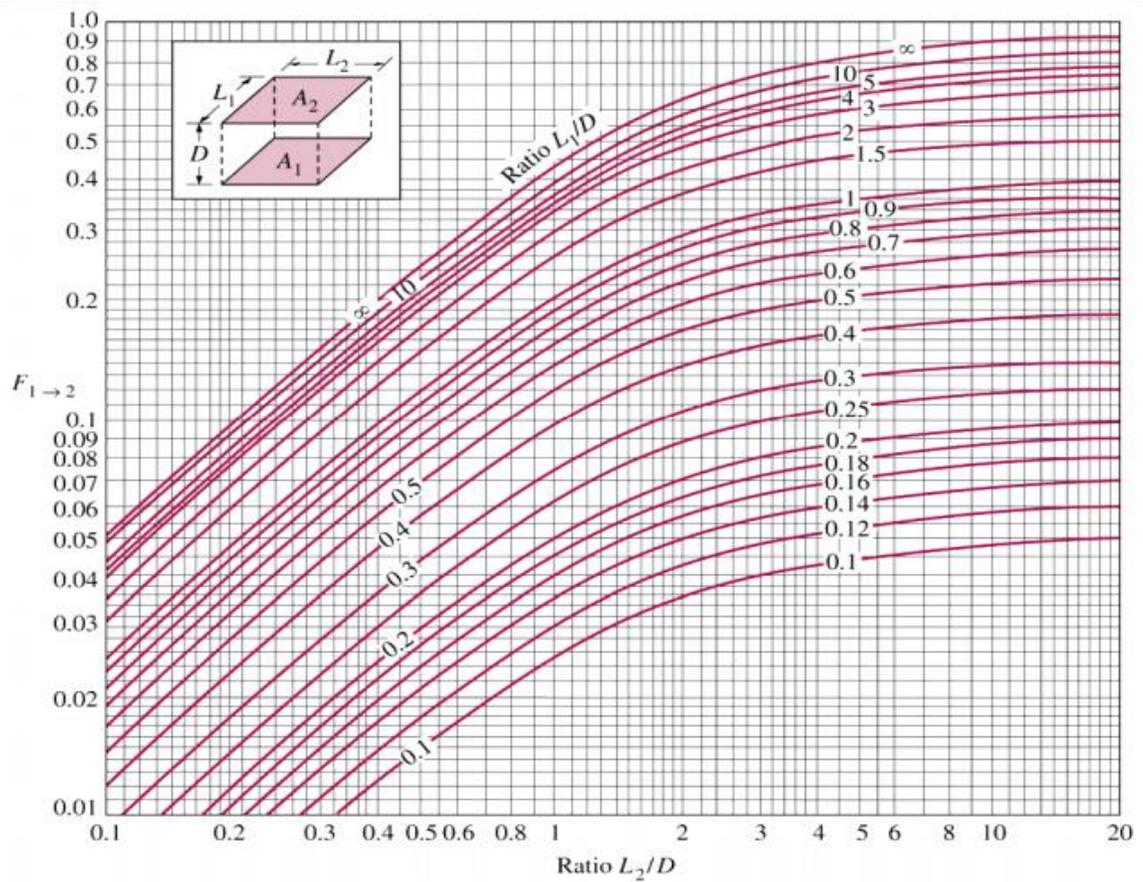
Anexos

Apéndice A

A-1.Figura Factor de forma entre superficies rectangulares con lado común (Fuente Cengel Y.A., Transferencia de Calor, Segunda Edición. McGraw- Hill, 2006).



A-2. Figura de Factor de forma entre superficies alineadas (Fuente Cengel Y.A., Transferencia de Calor, Segunda Edición. McGraw- Hill, 2006).



Apéndice B

B-1 Tabla Propiedades termo físicas del aire a presión atmosférica (Keenan, Chao, Keyes, gas tables, Wiley, 1985).

T (°C)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^6$ (N·s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^7$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
-150	2.867	0.982	8.64	3.013	11.71	4.157	0.7246
-100	2.039	0.965	11.90	5.835	15.82	8.034	0.7263
-90	1.927	0.975	12.49	6.482	16.62	8.842	0.7330
-80	1.828	0.983	13.07	7.153	17.42	9.692	0.7381
-70	1.738	0.990	13.64	7.850	18.22	10.59	0.7414
-60	1.656	0.995	14.20	8.572	19.01	11.53	0.7433
-50	1.582	0.999	14.74	9.317	19.79	12.52	0.7440
-40	1.514	1.002	15.27	10.08	20.57	13.56	0.7436
-30	1.452	1.004	15.79	10.88	21.34	14.65	0.7425
-20	1.394	1.005	16.30	11.69	22.11	15.78	0.7408
-10	1.341	1.006	16.80	12.52	22.88	16.96	0.7387
0	1.292	1.006	17.29	13.38	23.64	18.17	0.7362
5	1.269	1.006	17.54	13.82	24.01	18.80	0.7350
10	1.247	1.006	17.78	14.26	24.39	19.44	0.7336
15	1.225	1.007	18.02	14.71	24.76	20.08	0.7323
20	1.204	1.007	18.25	15.16	25.14	20.74	0.7309
25	1.184	1.007	18.49	15.61	25.51	21.40	0.7296
30	1.164	1.007	18.72	16.08	25.88	22.08	0.7282
35	1.146	1.007	18.95	16.54	26.25	22.76	0.7268
40	1.117	1.007	19.18	17.02	26.62	23.45	0.7255
45	1.110	1.007	19.41	17.49	26.99	24.16	0.7241
50	1.092	1.007	19.63	17.97	27.35	24.87	0.7228
55	1.076	1.007	19.86	18.46	27.72	25.59	0.7215
60	1.060	1.007	20.08	18.95	28.08	26.31	0.7202
65	1.044	1.007	20.30	19.45	28.45	27.05	0.7190
70	1.029	1.007	20.52	19.95	28.81	27.79	0.7177
75	1.014	1.008	20.74	20.45	29.17	28.55	0.7166
80	0.999	1.008	20.96	20.97	29.53	29.31	0.7154
85	0.986	1.008	21.17	21.48	29.88	30.07	0.7143
90	0.972	1.008	21.39	22.00	30.24	30.85	0.7132
95	0.959	1.009	21.60	22.52	30.60	31.63	0.7121
100	0.946	1.009	21.81	23.05	30.95	32.42	0.7111
110	0.921	1.010	22.23	24.12	31.65	34.02	0.7092
120	0.898	1.011	22.64	25.21	32.35	35.64	0.7073
130	0.876	1.012	23.05	26.32	33.05	37.30	0.7057
140	0.854	1.013	23.45	27.44	33.74	38.98	0.7041
150	0.834	1.014	23.85	28.59	34.43	40.68	0.7027
160	0.815	1.016	24.24	29.74	35.11	42.40	0.7014
170	0.797	1.017	24.63	30.92	35.79	44.15	0.7003
180	0.779	1.019	25.01	32.11	36.46	45.92	0.6992
190	0.762	1.021	25.39	33.32	37.13	47.71	0.6983
200	0.746	1.023	25.77	34.54	37.79	49.53	0.6974
210	0.7306	1.025	26.14	35.78	38.45	51.36	0.6967
220	0.7158	1.027	26.51	37.04	39.10	53.21	0.6960
230	0.7016	1.029	26.88	38.31	39.75	55.08	0.6955
240	0.6879	1.031	27.24	39.60	40.40	56.97	0.6950
250	0.6748	1.033	27.60	40.90	41.04	58.88	0.6946
260	0.6621	1.035	27.95	42.22	41.67	60.81	0.6942
270	0.6499	1.037	28.30	43.55	42.31	62.75	0.6940
280	0.6382	1.040	28.65	44.90	42.93	64.72	0.6938
290	0.6269	1.042	29.00	46.26	43.56	66.69	0.6936
300	0.6159	1.044	29.34	47.64	44.18	68.69	0.6935

Apéndice C

Código 1

```
% PROCESO ITERATIVO PARA ENCONTRAR T1 Y h1

%CONDICIONES DENTRO DEL RECINTO

T2=523.24; % en K, en °C 250.72
T1=774.95; % se supone
fprintf('/n/n COMIENZA LA ITERACION /n/n Se supone una temperatura T1
igual a %.2f K /n/n',T1);

Tpromedio=(T2+T1)/2;
fprintf('La temperatura promedio dentro del recinto es %.2f /n/n',
Tpromedio);

% Propiedades del Aire Tpromedio
g1=9.8; %m/s^2
beta1=1/Tpromedio; %K^-1
nu1=60.07*10^-6; %m^2/s
alfa1=87.11*10^-6; %m^2/s
k_1=49.65*10^-3; %W/m K
pr1=0.690;

% GEOMETRIA DE LAS PLACAS DENTRO DEL RECINTO
ancho=0.127; % en m, 5 in
alto=0.1016; % en m, 4 in
ele= 0.05; % en m,5cm
Apla= ancho*alto;
epsilon1=0.8;
sigma=5.67*10^-8; % quitarlo cuando se pase al ppal programa

%CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES Y NUMEROS ADIMENSIONALES

h1=(9146.57-0.5*sigma*(T1^4-T2^4))/(T1-T2);
fprintf('Con T1=638.65 se calculan h1 dentro del recinto %.2f
/n/n',h1);
RaL1=((g1*beta1*(T1-T2)*ele^3)/(nu1*alfa1));
fprintf('El número de Rayleigh dentro del recinto es %.2f', RaL1);

if RaL1<=10^9
    disp('Rayleigh dentro del recinto es menor que 10^9');
end

Null=0.22*(pr1*RaL1/(0.2+pr1))^(0.28)*(alto/ele)^(-1/4);
fprintf('/n/n El numero de Nusselt dentro del recinto es %.2f /n/n',
Null);

h01=Null*k_1/ele;
fprintf('El coeficiente de convección en el recinto es %.2f /n/n',
h01);
```

```
if abs (h1-h01)<=0.02
    fprintf('ITERACION TERMINADA /n/n');
end
```

Código 2

```
% Comportamiento Transitorio del flujo de la placa
clear;
clc;
T2=250.59;
A=zeros(161,161);
for i=1:161
    T(i,1)=27;
    d(i)=0.0004*(i-1);
end

for m=1:3
    %ecuacion de nod 1
    A(1,1)=11187501;
    A(1,2)=-5593750;
    for fil=2:160
        A(fil,fil-1)=-5593750;
        A(fil,fil)=11187501;
        A(fil,fil+1)=-5593750;
    end
    %ecuacion de nod 161
    A(161,161)=11187682.26;
    A(161,160)=-11187500;

    C(1,1)=5593750*T2+T(1,1);
    for i=2:160
        C(i,1)=T(i,1);
    end

    C(161,1)=T(i,1)+4893.95;
    T=A^-1*C;
    % disp(T);
    disp(m);
```

```
disp(min(T));
x=find(T(:)==min(T));
disp(x);

plot(d,T,'r');
hold on;

if m==6
    plot(d,T,'b');
    hold on;
end
pause;
end
```

Código 3

```
clear;
clc;

for i=1:360
    T(i,1)=27;
end

for l=0:60:300
    for j=1:60
        a(j)=T(j+1,1);
        x(j)=0.005*(j);
    end
    %plot(x,a,'g');
    %hold on;
    %pause;
end

for m=1:5
    %%% matriz ecuaciones
    A=zeros(360);
```

```
%ecuacion de nod 1
A(1,1)=286419.23;
A(1,2)=-47733.33;
A(1,1+60)=-47733.33;

%ecuacion de 1 a 2 a la 59
for f=2:59
    A(f,f-1)=-71600;
    A(f,f)=286428.35;
    A(f,f+1)=-71600;
    A(f,f+60)=-143200;
end

%ecuacion de nod 60
A(60,59)=-143200;
A(60,60)=286455.7;
A(60,60+60)=-143200;

%nod intermedios 62->119 122->179 182->239 242->299

for fil=62:119
    A(fil,fil-60)=-71600;
    A(fil,fil-1)=-71600;
    A(fil,fil)=286401;
    A(fil,fil+1)=-71600;
    A(fil,fil+60)=-71600;
end

for fil=122:179
    A(fil,fil-60)=-71600;
    A(fil,fil-1)=-71600;
    A(fil,fil)=286401;
    A(fil,fil+1)=-71600;
    A(fil,fil+60)=-71600;
end
```

```
for fil=182:239
    A(fil,fil-60)=-71600;
    A(fil,fil-1)=-71600;
    A(fil,fil)=286401;
    A(fil,fil+1)=-71600;
    A(fil,fil+60)=-71600;
end
```

```
for fil=242:299
    A(fil,fil-60)=-71600;
    A(fil,fil-1)=-71600;
    A(fil,fil)=286401;
    A(fil,fil+1)=-71600;
    A(fil,fil+60)=-71600;
end
```

```
%for nod pegados a pared 61, 121,...
```

```
for fi=61:60:241
    A(fi,fi-60)=-71600;
    A(fi,fi)=286401;
    A(fi,fi+1)=-71600;
    A(fi,fi+60)=-71600;
end
```

```
%nod convecc derecha 120,180,...
```

```
for fi=120:60:300
    A(fi,fi-60)=-71600;
    A(fi,fi-1)=-143200;
    A(fi,fi)=286428.35;
    A(fi,fi+60)=-71600;
end
```

```
%ecuacion de nod 301
A(301,301)=286419.23;
```

```
A(301,301+1)=-47733.33;
```

```
A(301,301-60)=-95466.67;
```

```
%ecuacion de la 242 a la 299
```

```
for f=302:359
```

```
    A(f,f-1)=-71600;
```

```
    A(f,f)=286428.35;
```

```
    A(f,f+1)=-71600;
```

```
    A(f,f-60)=-143200;
```

```
end
```

```
%ecuacion de nod 301
```

```
A(360,360-60)=-143200;
```

```
A(360,360-1)=-143200;
```

```
A(360,360)=286455.7;
```

```
%% matriz constantes
```

```
C(1,1)=T(1,1)+47733825.65;
```

```
for j=2:59
```

```
    C(j,1)=T(j,1)+738.48;
```

```
end
```

```
C(60,1)=T(60,1)+1476.96;
```

```
for f=62:119
```

```
    C(f,1)=T(f,1);
```

```
end
```

```
for f=122:179
```

```
    C(f,1)=T(f,1);
```

```
end
```

```
for f=182:239
```

```
    C(f,1)=T(f,1);
```

```
end
```

```
for f=242:299
```

```
    C(f,1)=T(f,1);
```

```
end
for fi=61:60:241
    C(fi,1)=T(fi,1)+17.9*10^6;
end
for fi=120:60:300
    C(fi,1)=T(fi,1)+738.48;
end

C(301,1)=T(301,1)+35.8*10^6;

for f=302:359
    C(f,1)=T(f,1)+3702.1;
end

C(360,1)=T(360,1)+1476.96;

%%% Calculo
T=A^-1*C;
T;
disp(m);
disp(min(T));
[x]=find(T(:)==min(T));
disp(x);
pause;

if m==1
    for l=0:60:300
        for j=1:60
            a(j)=T(j+1,1);
            x(j)=0.005*(j);
        end
        plot(x,a,'g');
        axis ([0 0.35 220 255]);
        xlabel('d(m)');
        ylabel('T(°C)');
        hold on;
```

```
        pause;
    end
end

if m==2
    for l=0:60:300
        for j=1:60
            a(j)=T(j+1,1);
            x(j)=0.005*(j);
        end
        plot(x,a,'b');
        hold on;
        pause;
    end
end

if m==3
    for l=0:60:300
        for j=1:60
            a(j)=T(j+1,1);
            x(j)=0.005*(j);
        end
        plot(x,a,'y');
        hold on;
        pause;
    end
end

if m==4
    for l=0:60:300
        for j=1:60
            a(j)=T(j+1,1);
            x(j)=0.005*(j);
        end
        plot(x,a,'r');
        hold on;
        pause;
    end
end
```

```
        end
    end

    if m==5
        for l=0:60:300
            for j=1:60
                a(j)=T(j+1,1);
                x(j)=0.005*(j);
            end
            plot(x,a,'k');
            hold on;
            pause;
        end
    end
end
end
```

Código 4

```
#include <i2cmaster.h>

byte newAddress = 0x55<<1; // Escriba acá la dirección nueva que
                            // quiere asignar. En este ejemplo, la nueva
                            // dirección será 0x55.
                            // Corra la dirección 1 bit a la derecha, la
                            // librería I2Cmaster solo necesita los 7 bits
                            // mas significativos para la dirección.

void setup()
{
    Serial.begin(9600); // Inicia la comunicación serial
                       // a 9600bps.

    i2c_init(); // Inicia el bus i2c.
    PORTC = (1 << PORTC4) | (1 << PORTC5); // Habilita 'pullups'.

    delay(5000); // Espera para permitir la
    comunicación serial.
```

```
    ChangeAddress(newAddress, 0x00);          // Cambia la dirección al nuevo
valor.
}

void loop()
{
}

word ChangeAddress(byte NewAddr1, byte NewAddr2) {
    Serial.println("> Change address");

    i2c_start_wait(0 + I2C_WRITE);          // Envía el comando de inicio.
    i2c_write(0x2E);                        // Envía comando para que el dispositivo
                                            // devuelva la dirección (0x2E).

    i2c_write(0x00);                        // Envía cero para borrar.
    i2c_write(0x00);                        // Envía cero para borrar.
    if (i2c_write(0x6F) == 0) {
        i2c_stop();                          // Libera el bus, termina la transacción.
        Serial.println(" Data erased."); // Mensaje de confirmación de dirección
borrada.
    }
    else {
        i2c_stop();                          // Libera el bus, termina la transacción.
        Serial.println(" Failed to erase data");
        return -1;
    }

    Serial.print(" Writing data: ");
    Serial.print(NewAddr1, HEX);
    Serial.print(", ");
    Serial.println(NewAddr2, HEX);

    for (int a = 0; a != 256; a++) {
        i2c_start_wait(0 + I2C_WRITE);      // Envía el comando de inicio.
        i2c_write(0x2E);                    // Envía comando para que el dispositivo
                                            // devuelva la dirección (0x2E).

        i2c_write(NewAddr1);                // Envía nueva dirección.
        i2c_write(NewAddr2);                // Envía nueva dirección.
        if (i2c_write(a) == 0) {
            i2c_stop();                      // Libera el bus, termina la transacción.
            delay(100);                      // Espera 10ms.
        }
    }
}
```

```
        Serial.print("Found correct CRC: 0x");
        Serial.println(a, HEX);
        return a;
    }
}
i2c_stop(); // Libera el bus, termina la transacción.
Serial.println("Correct CRC not found");
return -1;
}
```

Código 5

```
#include <i2cmaster.h>

//primer aleta

int device1Address = 0x55<<1;

int device2Address = 0x1A<<1;

int device3Address = 0x2A<<1;

int device4Address = 0x3A<<1;

int device5Address = 0x4A<<1;

int device6Address = 0x5A<<1;

//segunda aleta, conjunto

int device7Address = 0x45<<1;

int device8Address = 0x01<<1;

int device9Address = 0x02<<1;

int device10Address = 0x03<<1;

int device11Address = 0x04<<1;

int device12Address = 0x05<<1;

int seleccion = 3;

//variables

float celcius1 = 0; // Variable que contiene la temperatura en Celcius
```

```

// para el sensor 1.
float celcius2 = 0; // Variable que contiene la temperatura en Celcius
// para el sensor 2.
float celcius3 = 0; // Variable que contiene la temperatura en Celcius
// para el sensor 3.
float celcius4 = 0; // Variable que contiene la temperatura en Celcius
// para el sensor 4.
float celcius5 = 0; // Variable que contiene la temperatura en Celcius
// para el sensor 5.
float celcius6 = 0; // Variable que contiene la temperatura en Celcius
// para el sensor 6.
float celcius7 = 0; // Variable que contiene la temperatura en Celcius
// para el sensor 7.
float celcius8 = 0; // Variable que contiene la temperatura en Celcius
// para el sensor 8.
float celcius9 = 0; // Variable que contiene la temperatura en Celcius
// para el sensor 9.
float celcius10 = 0; // Variable que contiene la temperatura en Celcius
// para el sensor 10.
float celcius11 = 0; // Variable que contiene la temperatura en Celcius
// para el sensor 11.
float celcius12 = 0; // Variable que contiene la temperatura en Celcius
// para el sensor 12.

void setup()
{
  Serial.begin(115200); // Inicia la comunicación serial a 115200bps.
  Serial.println("Ready");
  i2c_init(); // Inicia el bus i2c.
  PORTC = (1 << PORTC4) | (1 << PORTC5); // Habilita 'pullups'.
}

void loop()
```

```
{  
  
    if (Serial.available()) {  
  
        //primeros  
  
        char valor[6];  
  
        //String valor = "";  
  
        String message = "{ ";  
  
  
        celcius1 = temperatureCelcius(device1Address); // Lee los datos del MLX90614  
        celcius2 = temperatureCelcius(device2Address); // con la dirección dada,  
        celcius3 = temperatureCelcius(device3Address); // los transforma en  
        celcius4 = temperatureCelcius(device4Address); // temperatura en Celcius y  
        celcius5 = temperatureCelcius(device5Address); // la guarda en las variables  
        celcius6 = temperatureCelcius(device6Address);  
        celcius7 = temperatureCelcius(device7Address); // Lee los datos del MLX90614  
        celcius8 = temperatureCelcius(device8Address); // con la dirección dada,  
        celcius9 = temperatureCelcius(device9Address); // los transforma en  
        celcius10 = temperatureCelcius(device10Address); // temperatura en Celcius y  
        celcius11 = temperatureCelcius(device11Address); // la guarda en las variables  
        celcius12 = temperatureCelcius(device12Address);  
  
  
        message += "\s1\":";  
  
        dtostrf(celcius1, 6, 2, valor);  
  
        //valor = "10.00";  
  
        message += valor;  
  
        message += ", \s2\":";  
  
        dtostrf(celcius2, 6, 2, valor);  
  
        //valor = "15.00";  
  
        message += valor;  
  
        message += ", \s3\":";  
  
        dtostrf(celcius3, 6, 2, valor);  
  
        //valor = "20.00";  
  
        message += valor;  
  
    }  
}
```

```
message += ", \"s4\":";
dtostrf(celcius4, 6, 2, valor);
//valor = "25.00";
message += valor;
message += ", \"s5\":";
dtostrf(celcius5, 6, 2, valor);
//valor = "30.00";
message += valor;
message += ", \"s6\":";
dtostrf(celcius6, 6, 2, valor);
//valor = "35.00";
message += valor;
message += ", \"s7\":";
dtostrf(celcius7, 6, 2, valor);
//valor = "1.00";
message += valor;
message += ", \"s8\":";
dtostrf(celcius8, 6, 2, valor);
//valor = "2.00";
message += valor;
message += ", \"s9\":";
dtostrf(celcius9, 6, 2, valor);
//valor = "3.00";
message += valor;
message += ", \"s10\":";
dtostrf(celcius10, 6, 2, valor);
//valor = "4.00";
message += valor;
message += ", \"s11\":";
dtostrf(celcius11, 6, 2, valor);
//valor = "5.00";
message += valor;
```

```
    message += ", \"s12\":";

    dtostrf(cecius12, 6, 2, valor);

    //valor = "6.00";

    message += valor;

    message += " ";

    Serial.println(message);

}

delay(1000);                // Espera un segundo para imprimir de nuevo.

}

float temperatureCelcius(int address) {

    int dev = address;

    int data_low = 0;

    int data_high = 0;

    int pec = 0;

    // Escribe

    i2c_start_wait(dev+I2C_WRITE);

    i2c_write(0x07);

    // Lee

    i2c_rep_start(dev+I2C_READ);

    data_low = i2c_readAck();    // Lee 1 byte y envía ack.

    data_high = i2c_readAck();  // Lee 1 byte y envía ack

    pec = i2c_readNak();

    i2c_stop();

    // Esto convierte los bytes altos y bajos juntos y procesa la temperatura.

    double tempFactor = 0.02;    // 0.02 grados por LSB (medida de

                                   // resolución del MLX90614).

    double tempData = 0x0000;
```

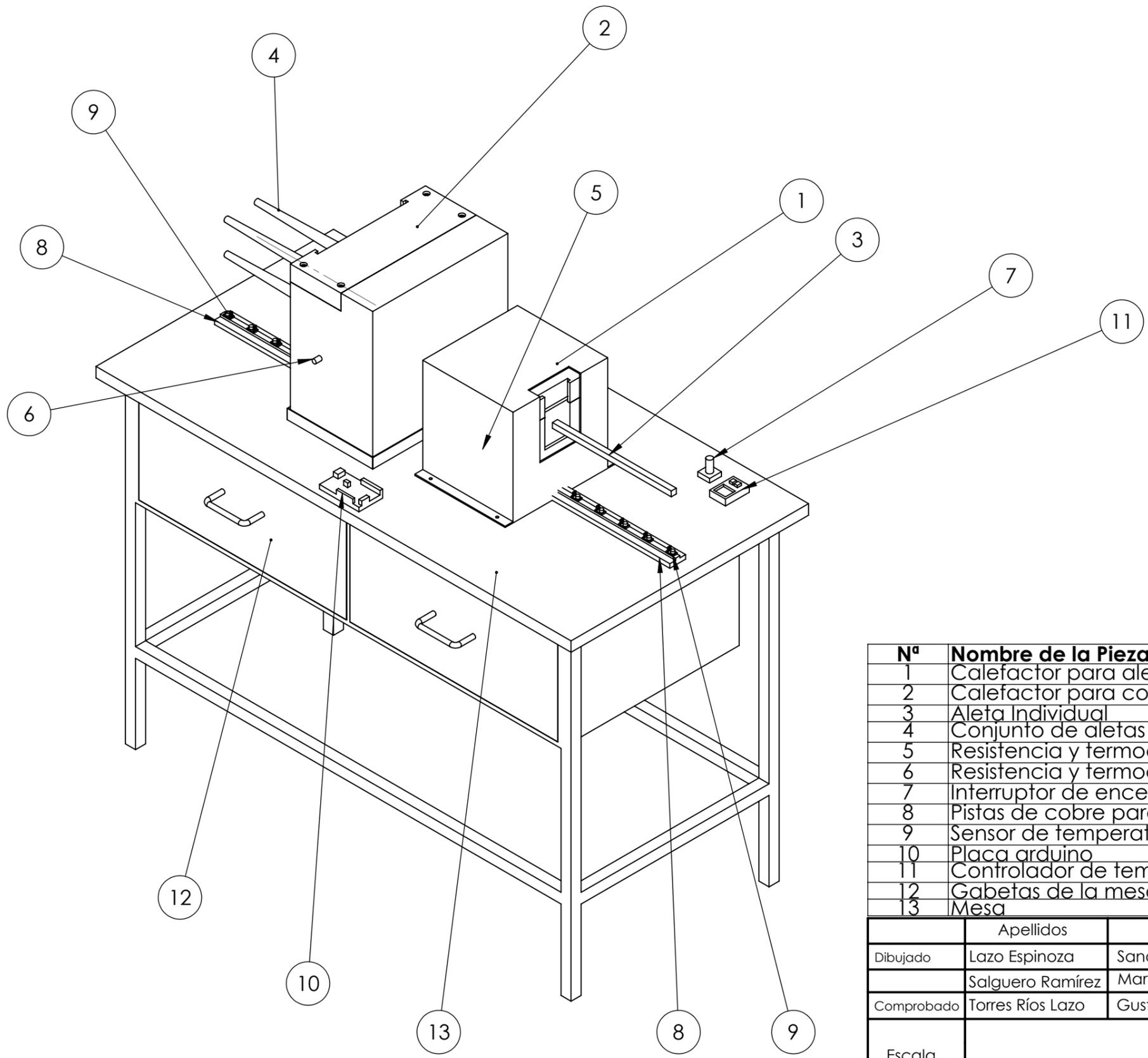
```
int frac;                                // Datos después del punto decimal.

// Esto oculta el error del byte alto y lo mueve a la izquierda
// 8 bits y agrega el byte bajo.
tempData = (double)(((data_high & 0x007F) << 8) + data_low);
tempData = (tempData * tempFactor)-0.01;
float celcius = tempData - 273.15;

// Retorna la temperatura en Celcius.
return celcius;
}
```

Bibliografía

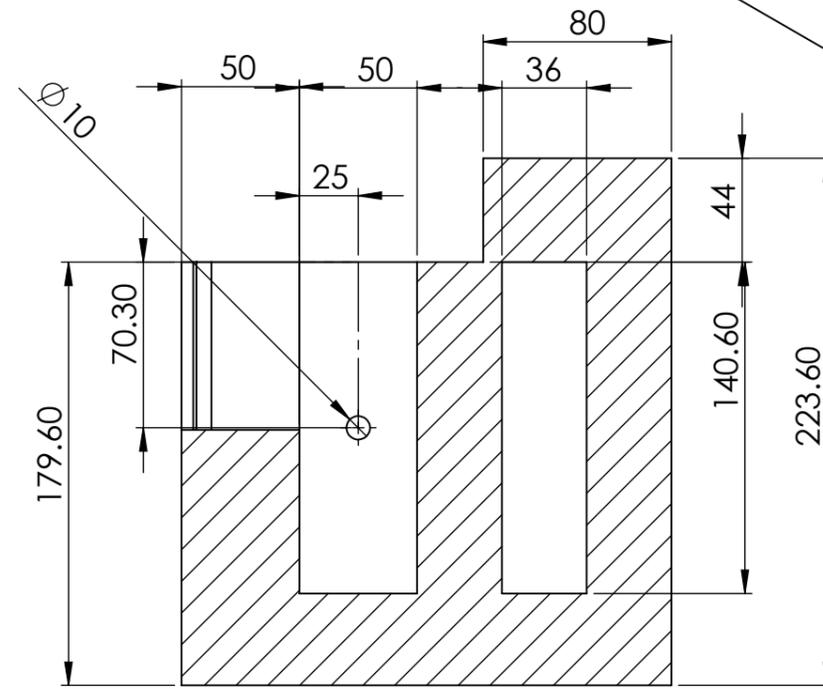
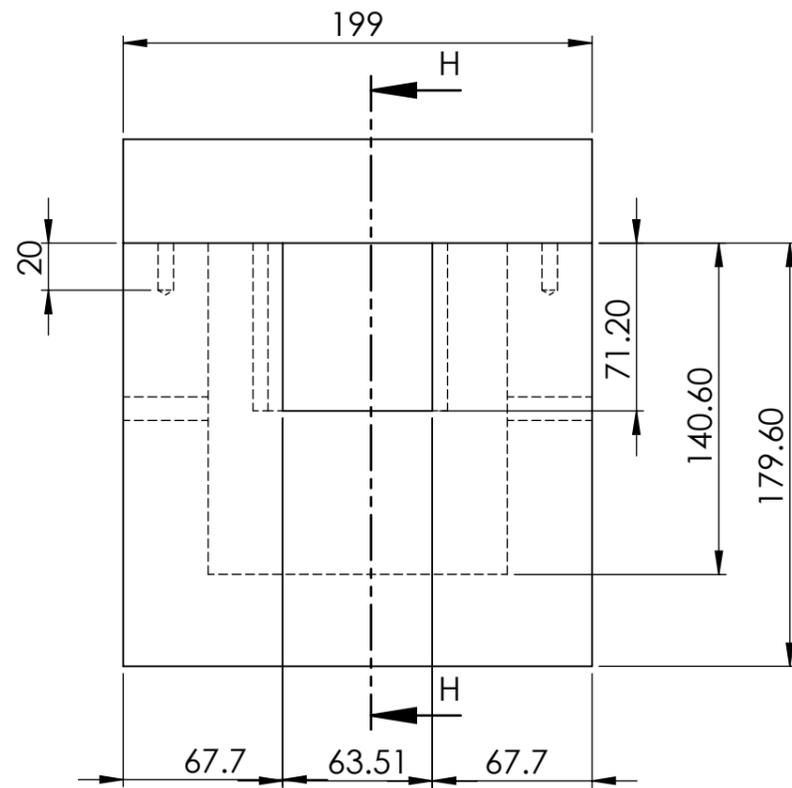
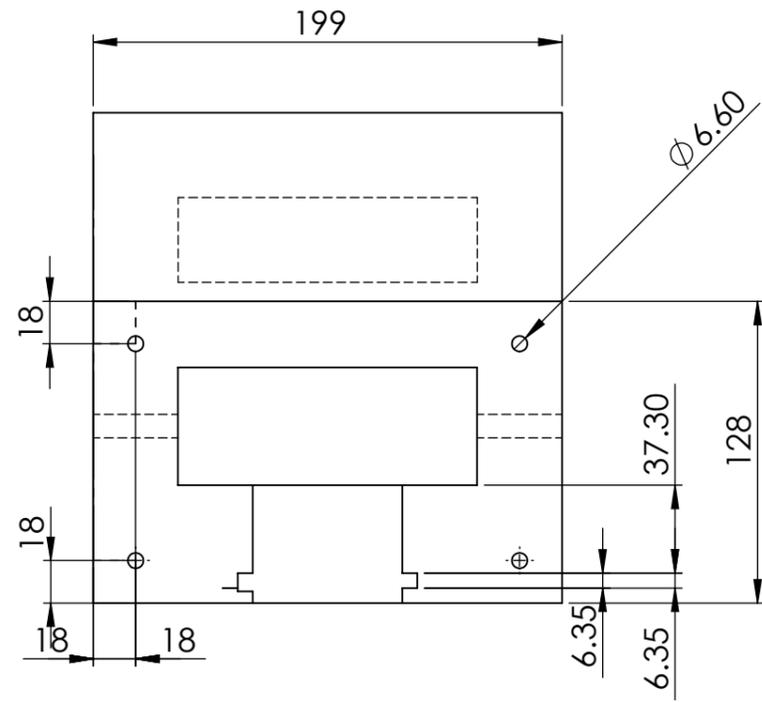
- A., C. Y. (2004). *Transferenci de Calor y Masa*. México: Mc Graw Hill Interamericana.
- Banzi, M. (s.f.). *Arduino*. Recuperado el 13 de octubre de 2015, de Arduino: <http://www.arduino.cc>
- Gascón, A. d. (2001). *Didáctica Universitaria: la cara dura de la Universidad*. Madrid.
- Incropera, F. P. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor (cuarta edición)*. México: Prentice Hall.
- Kern, D. Q. (1999). *Procesos de Transferencia de Calor*. México: Continental S.A. de C.V.
- Regalado, O. L. (2006). *Medios y Materiales Educativos*. Lambayeque, Perú.
- *wiki.wiring.co*. (21 de Enero de 2013). Obtenido de wiki.wiring.co.



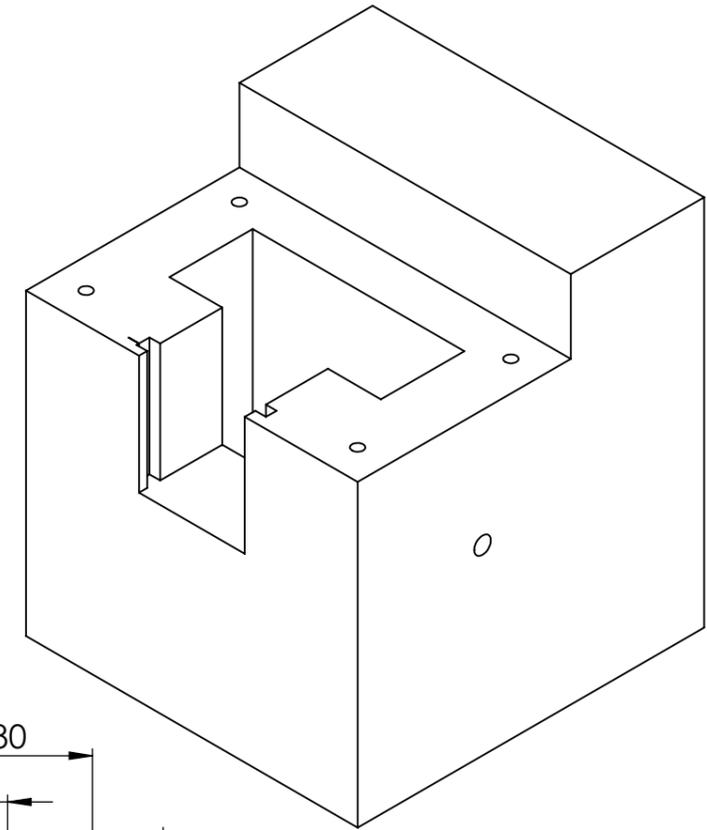
Nº	Nombre de la Pieza
1	Calefactor para aletas individuales
2	Calefactor para conjunto de aletas
3	Aleta Individual
4	Conjunto de aletas
5	Resistencia y termocupla para aletas individuales
6	Resistencia y termocupla para conjunto de aletas
7	Interruptor de encendido
8	Pistas de cobre para aletas individuales y de conjunto
9	Sensor de temperatura MLX90614 para aletas insividuales y de conjunto
10	Placa arduino
11	Controlador de temperatura para aleta individual y de conjunro
12	Gabetas de la mesa
13	Mesa

	Apellidos	Nombres	Firmas	
Dibujado	Lazo Espinoza	Sandor Mauricio		Universidad de El Salvador Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela de Ingeniería Mecánica
	Salguero Ramírez	Marvin René		
Comprobado	Torres Ríos Lazo	Gustavo Salomón		

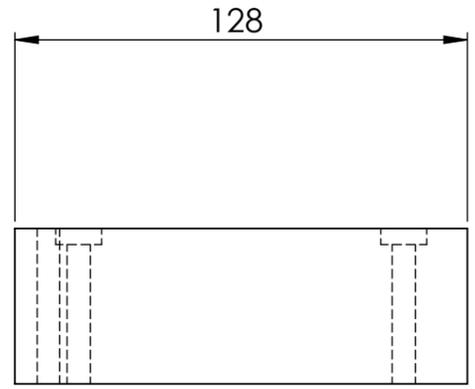
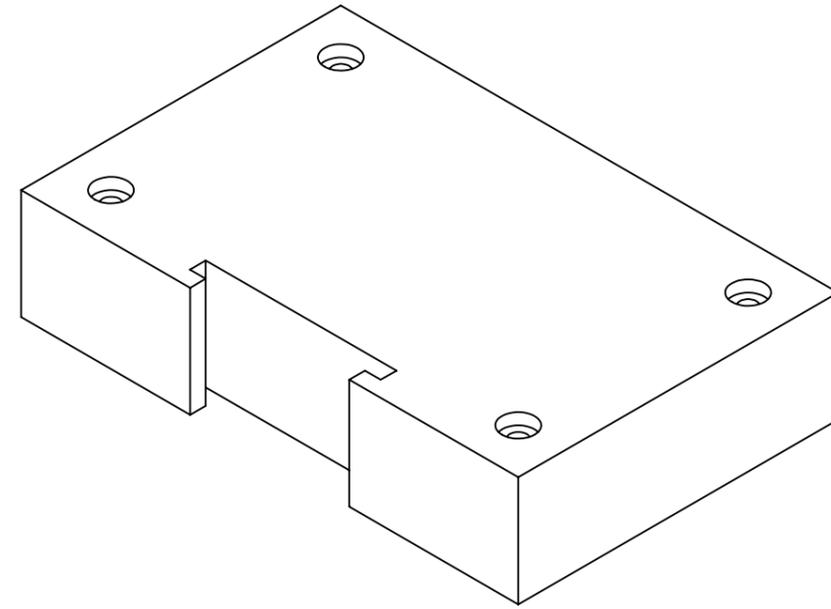
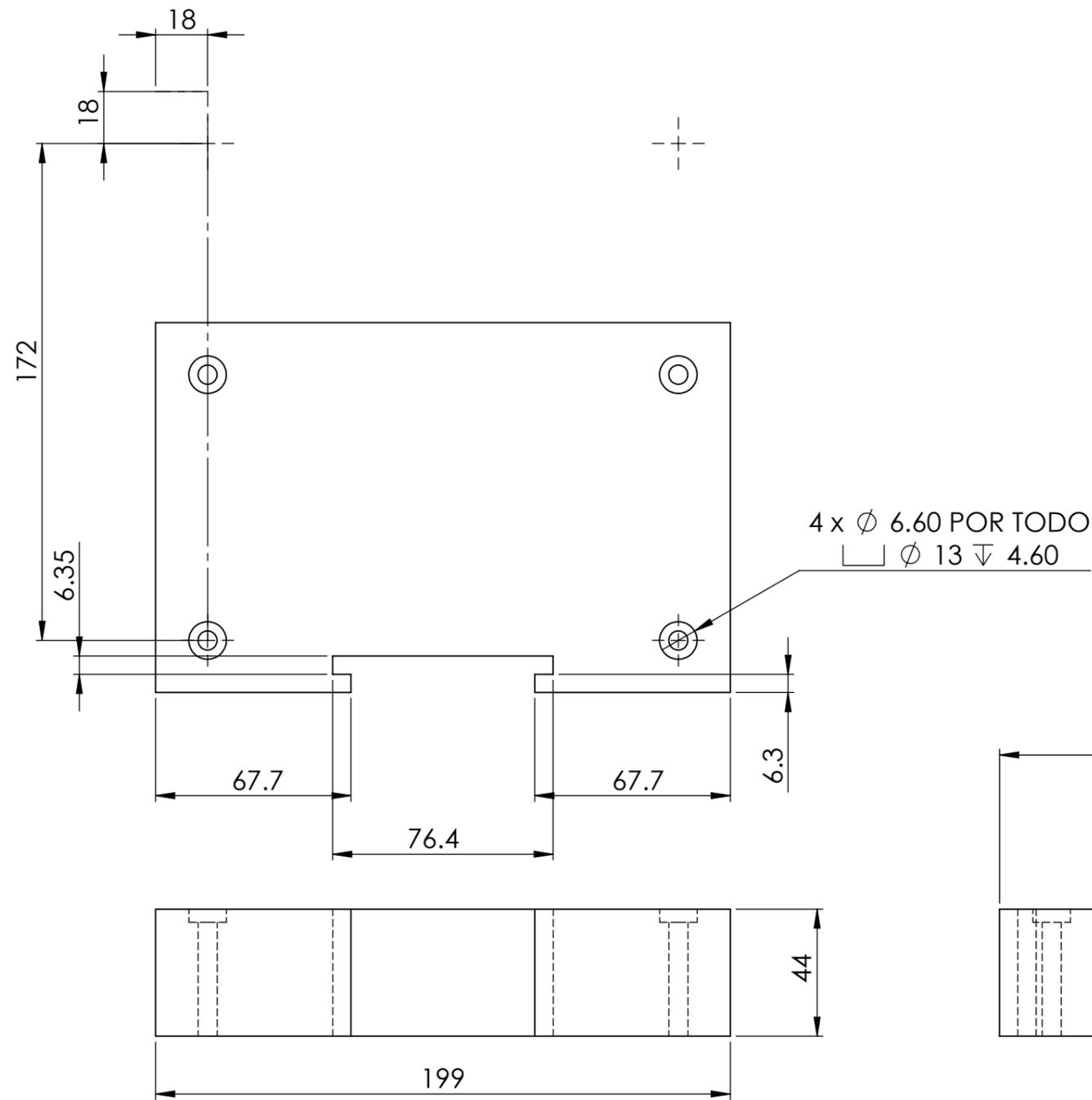
Escala 1:8 Cotas en mm	Plano de Conjunto	TBM-115 Trabajo de Graduación de Ingeniería Mecánica
		Plano 1



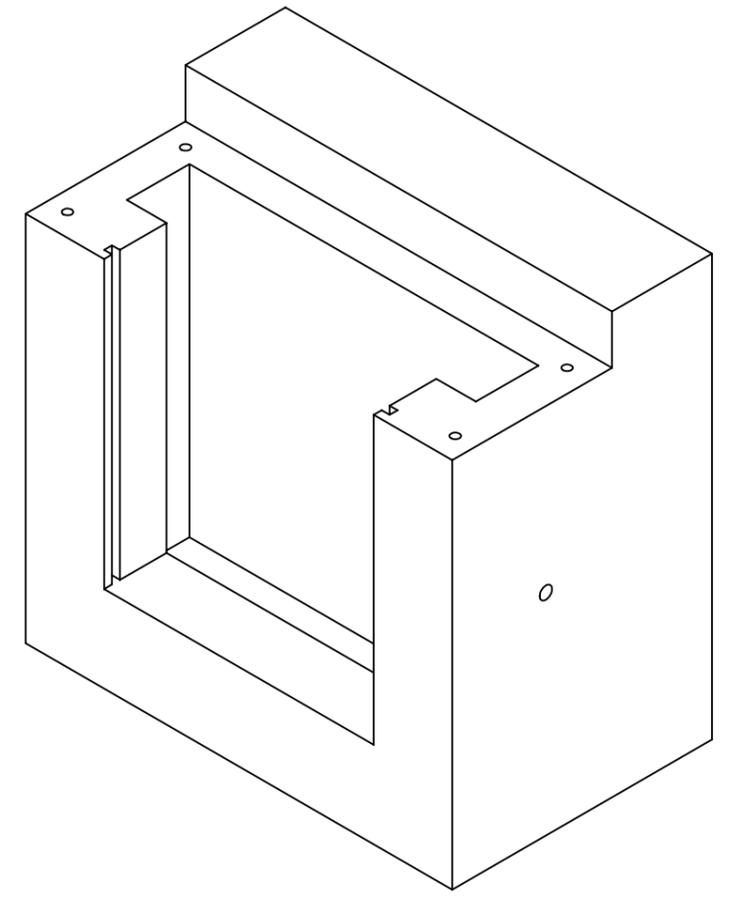
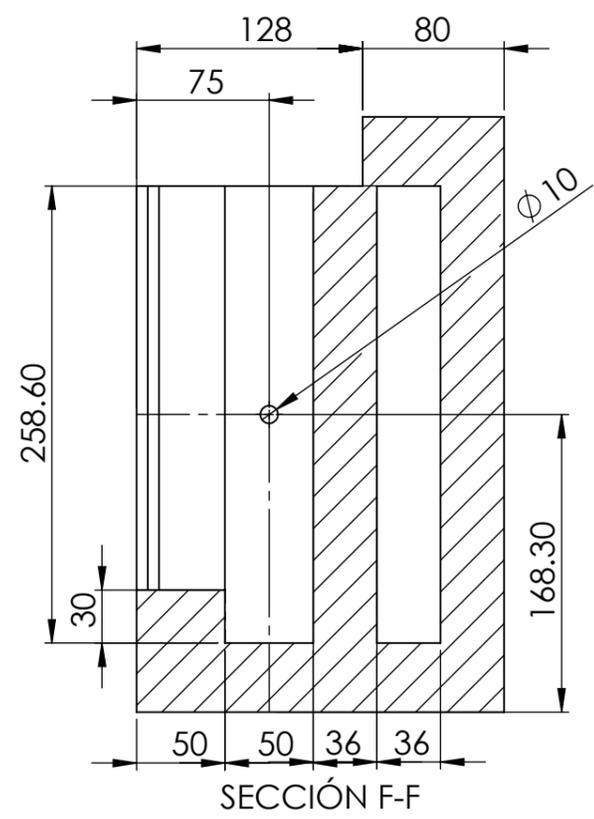
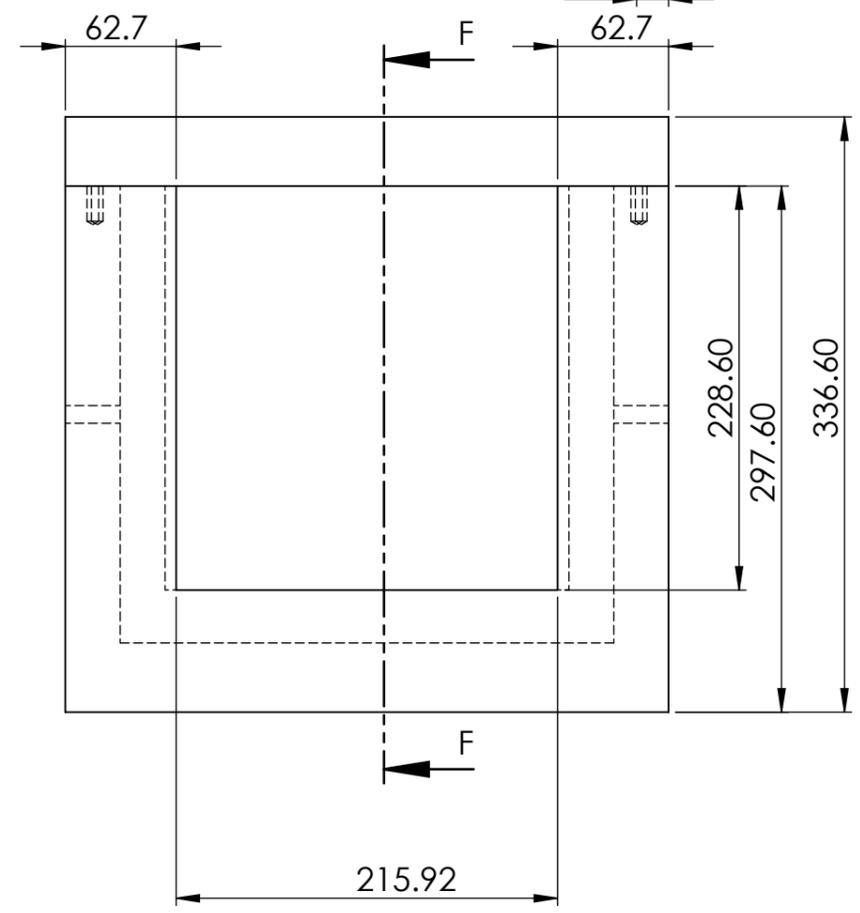
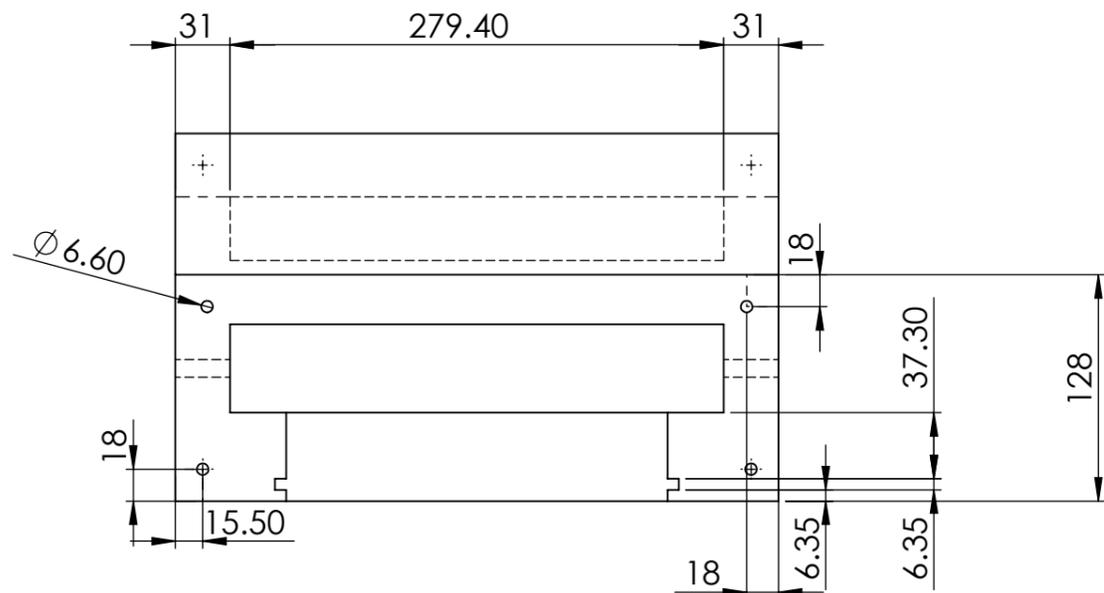
SECCIÓN H-H



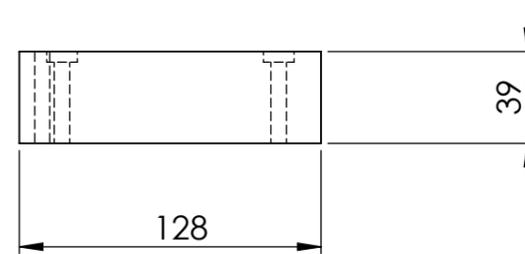
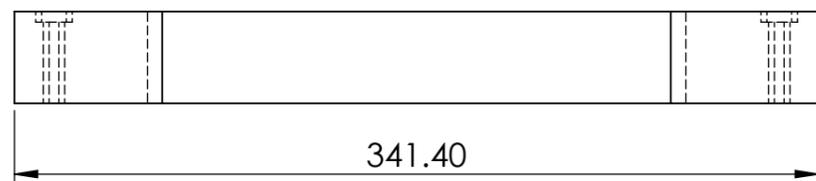
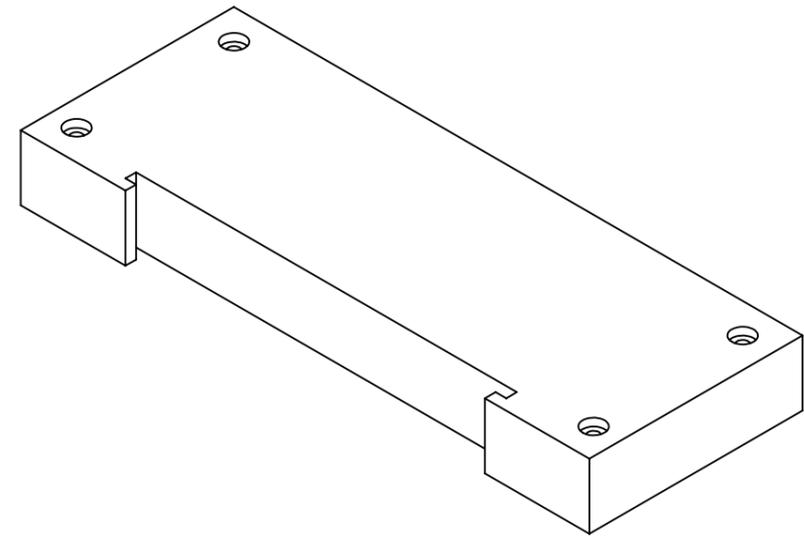
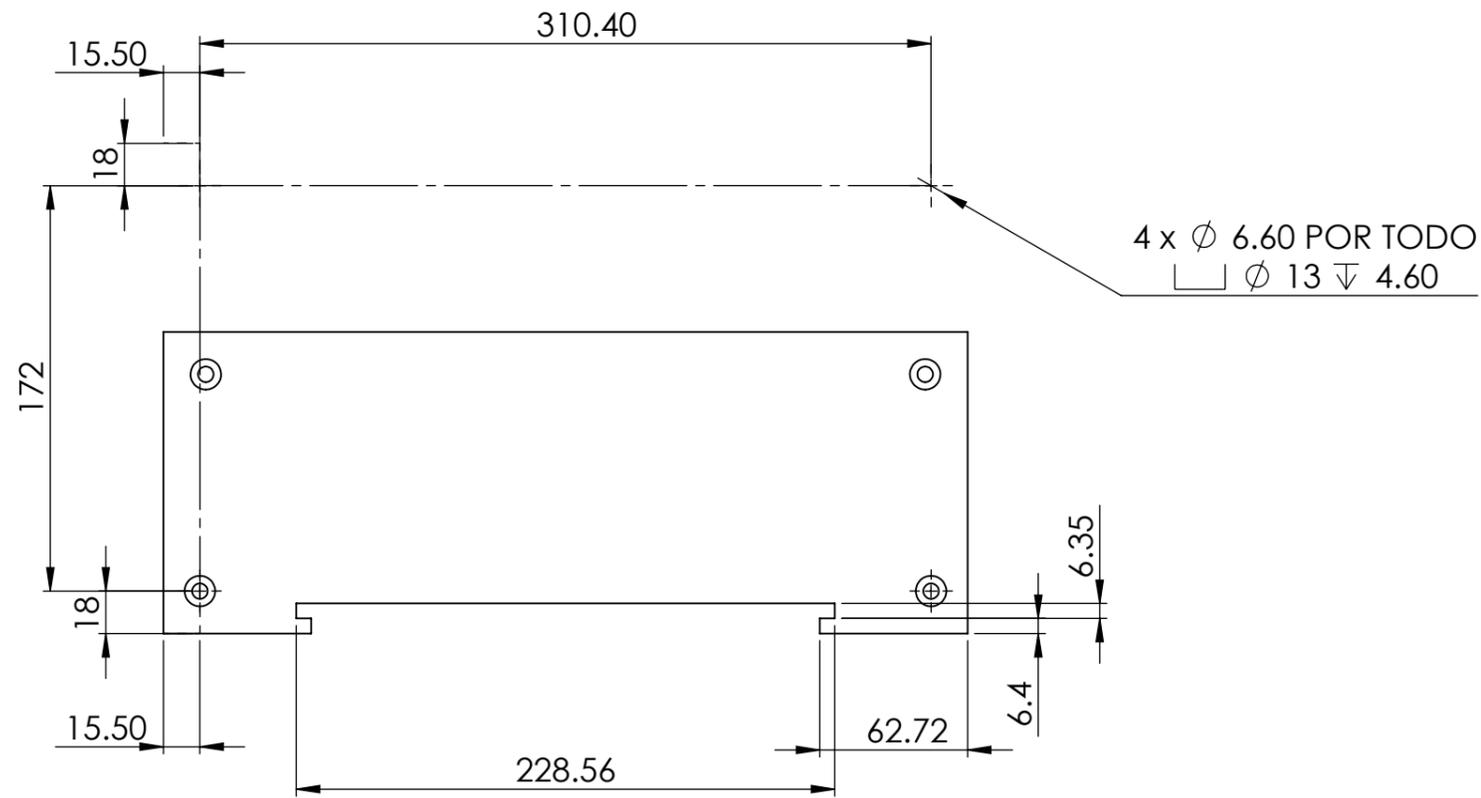
	Apellidos	Nombres	Firmas	
Dibujado	Lazo Espinoza	Sandor Mauricio		Universidad de El Salvador Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela de Ingeniería Mecánica
	Salguero Ramírez	Marvin René		
Comprobado	Torres Ríos Lazo	Gustavo Salomón		
Material	Porcelana para Cerámica			TBM-115 Trabajo de Graduación de Ingeniería Mecánica
Escala 1:3 Cotas en mm	Calefactor para Aletas Individuales			
				Plano 2



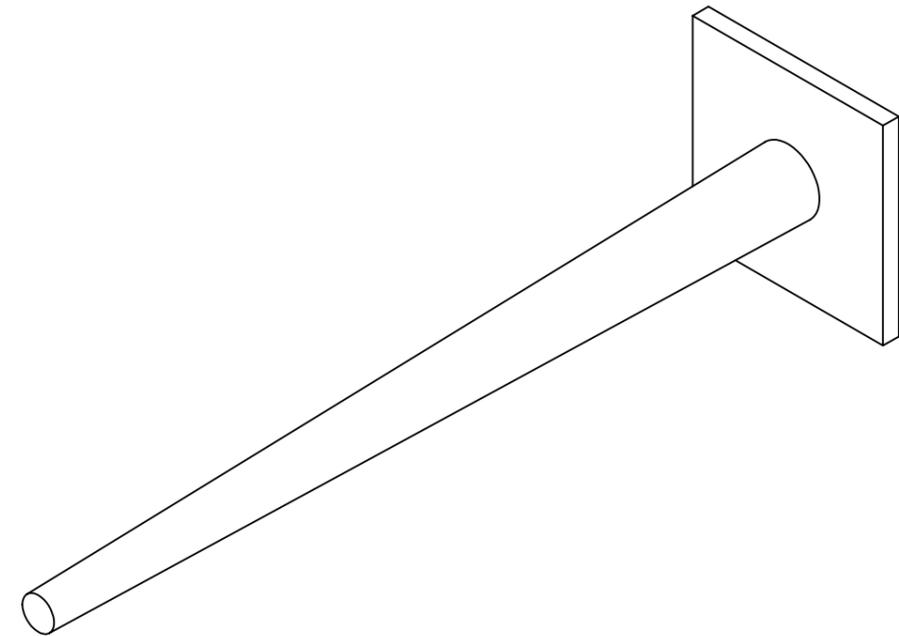
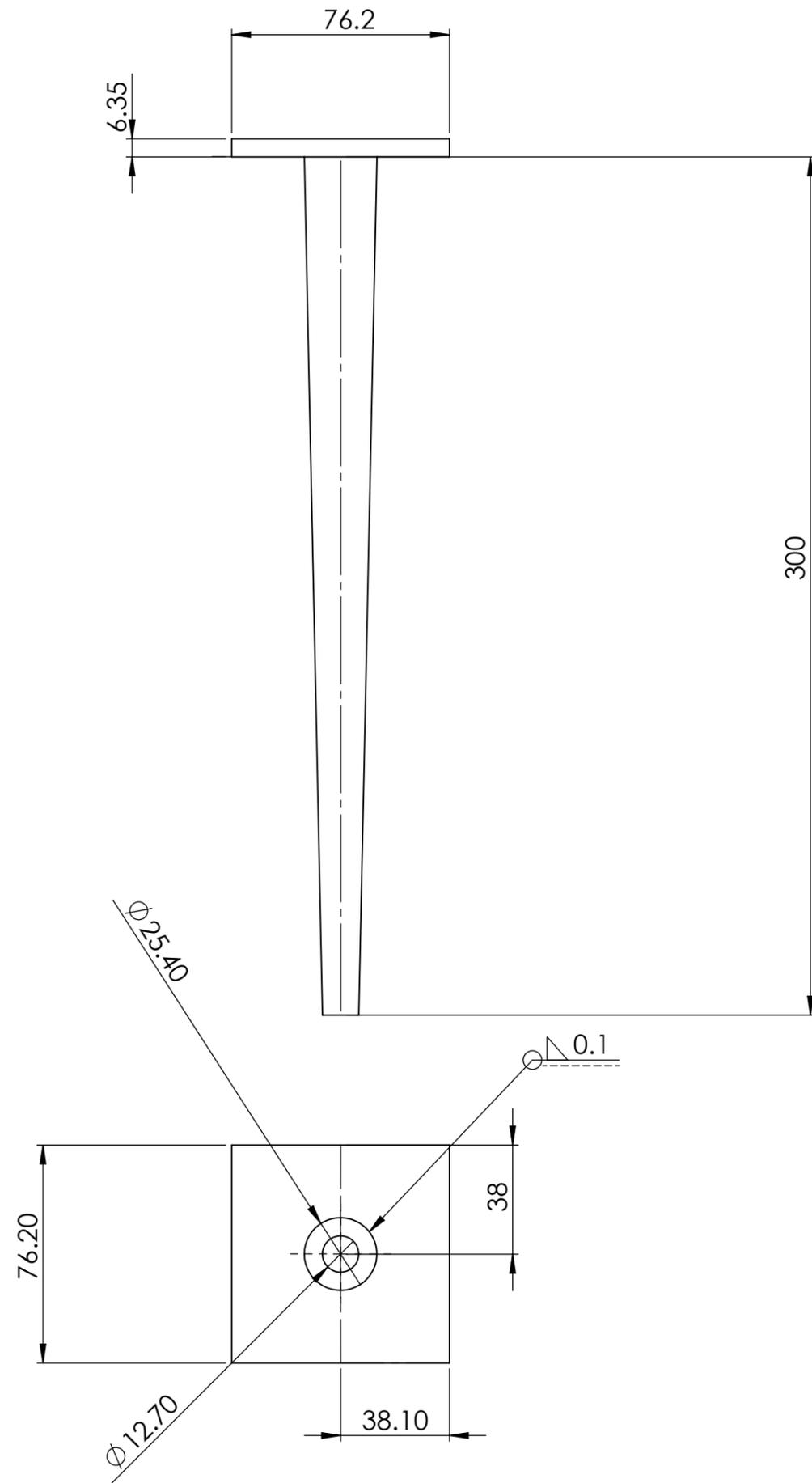
	Apellidos	Nombres	Firmas	
Dibujado	Lazo Espinoza	Sandor Mauricio		Universidad de El Salvador Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela de Ingeniería Mecánica
	Salguero Ramírez	Marvin René		
Comprobado	Torres Ríos Lazo	Gustavo Salomón		
Material	Aluminio			TBM-115 Trabajo de Graduación de Ingeniería Mecánica
Escala 1:3 Cotas en mm	Tapadera de Calefactor para Aletas Individuales			
				Plano 3



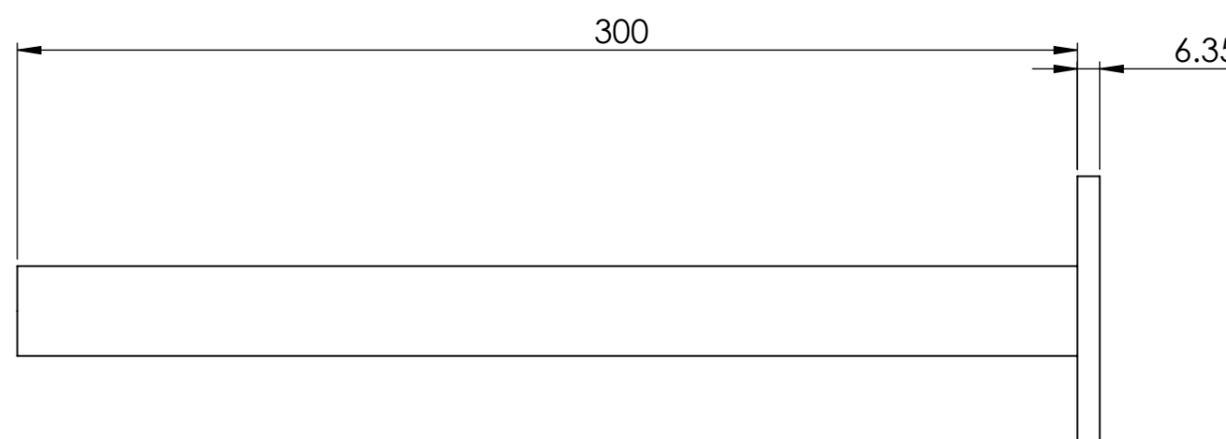
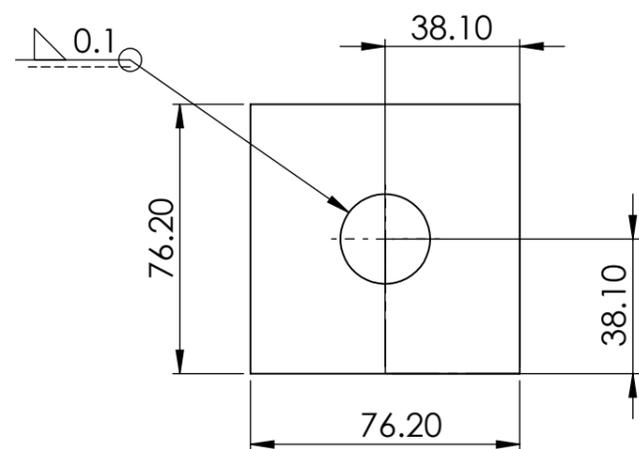
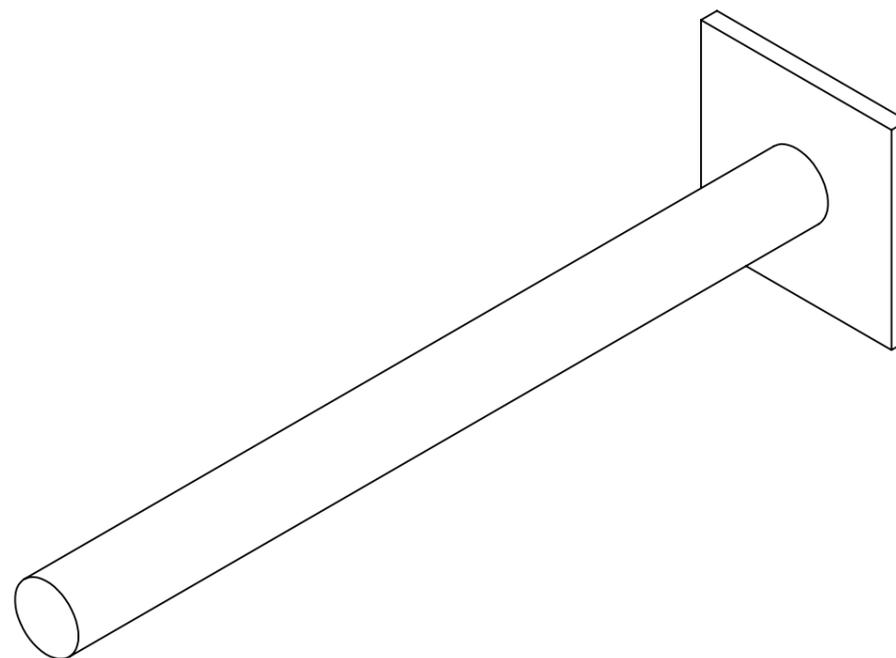
	Apellidos	Nombres	Firmas	
Dibujado	Lazo Espinoza	Sandor Mauricio		Universidad de El Salvador Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela de Ingeniería Mecánica
	Salguero Ramírez	Marvin René		
Comprobado	Torres Ríos Lazo	Gustavo Salomón		
Material	Porcelana para Ceramica			TBM-115
Escala 1:4 Cotas en mm	Calefactor para Conjunto de Aletas			Plano 4



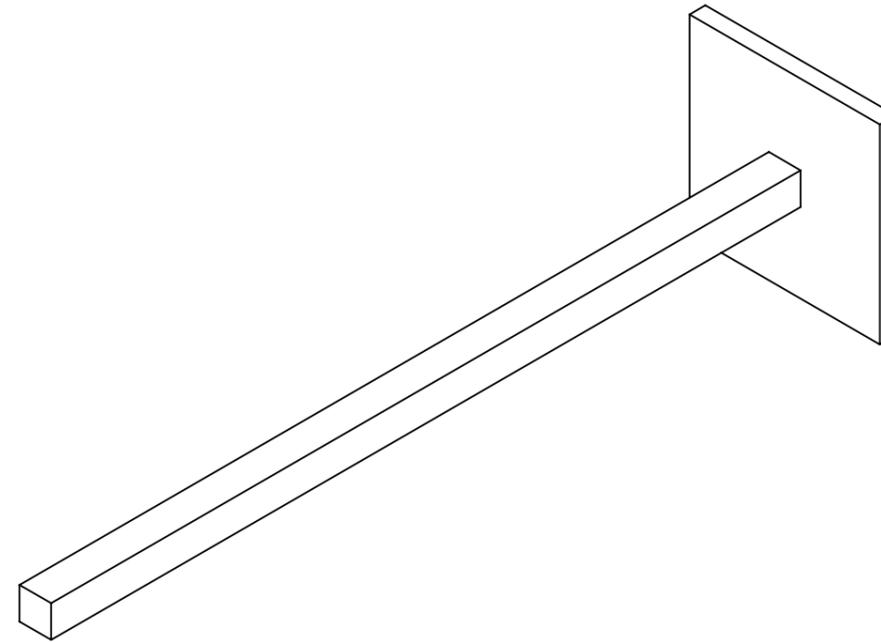
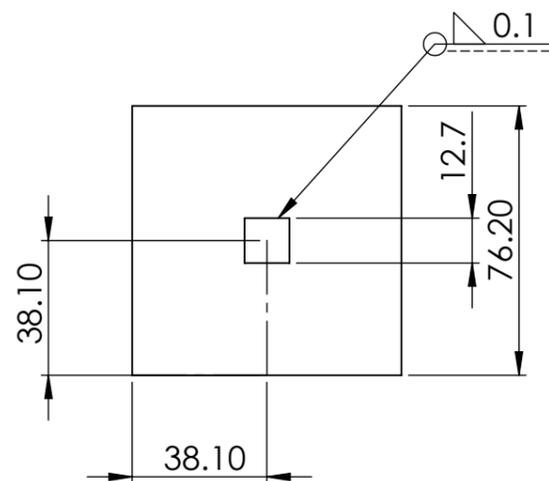
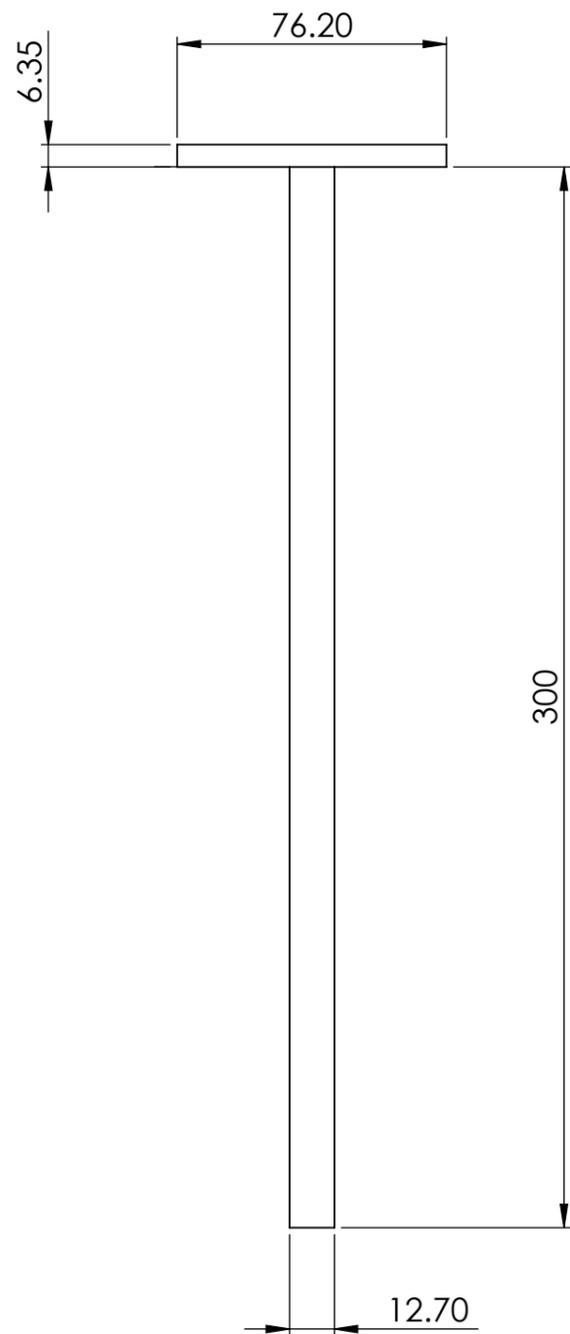
	Apellidos	Nombres	Firmas	
Dibujado	Lazo Espinoza	Sandor Mauricio		Universidad de El Salvador Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela de Ingeniería Mecánica
	Salguero Ramírez	Marvin René		
Comprobado	Torres Ríos Lazo	Gustavo Salomón		
Material	Porcelana para Ceramica			TBM-115 Trabajo de Graduación de Ingeniería Mecánica
Escala 1:3 Cotas en mm	Tapadera de Calefactor para Conjunto de Aletas			
				Plano 5



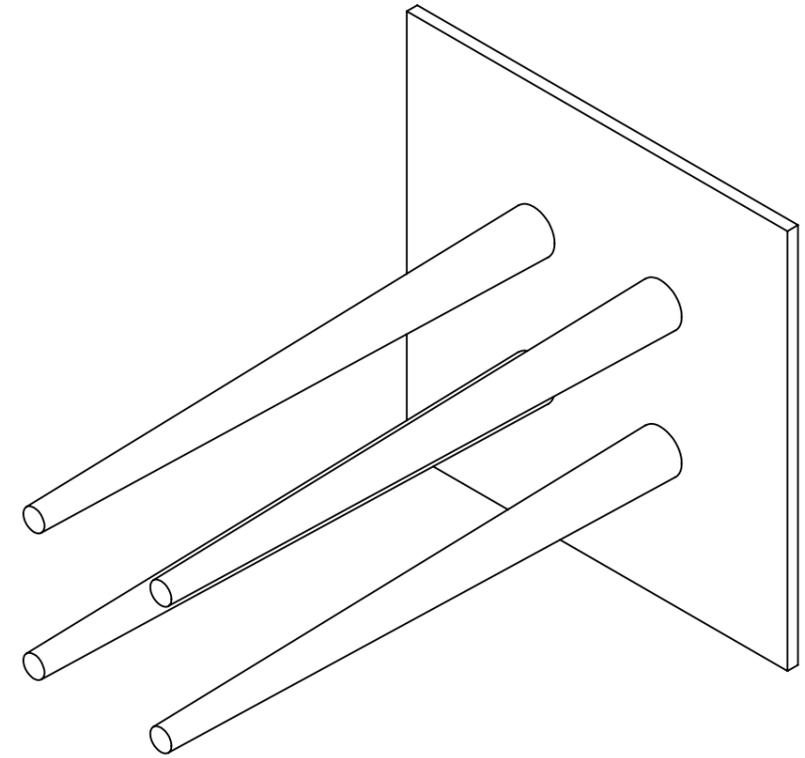
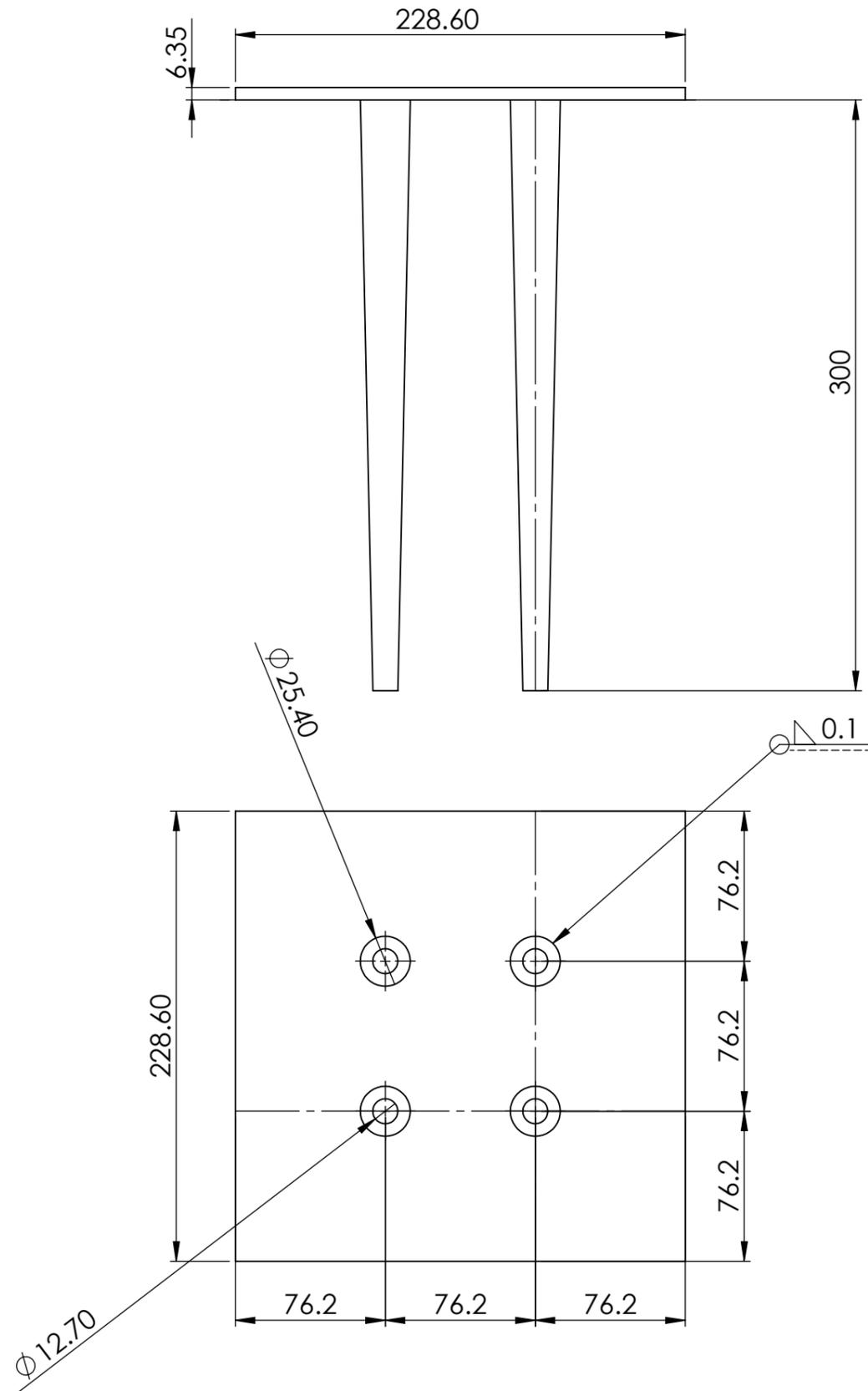
	Apellidos	Nombres	Firmas	
Dibujado	Lazo Espinoza	Sandor Mauricio		Universidad de El Salvador Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela de Ingeniería Mecánica
	Salguero Ramírez	Marvin René		
Comprobado	Torres Ríos Lazo	Gustavo Salomón		
Material	Aluminio y Acero			TBM-115 Trabajo de Graduación de Ingeniería Mecánica
Escala 1:2 Cotas en mm	Aleta Cónica Individual			
				Plano 6



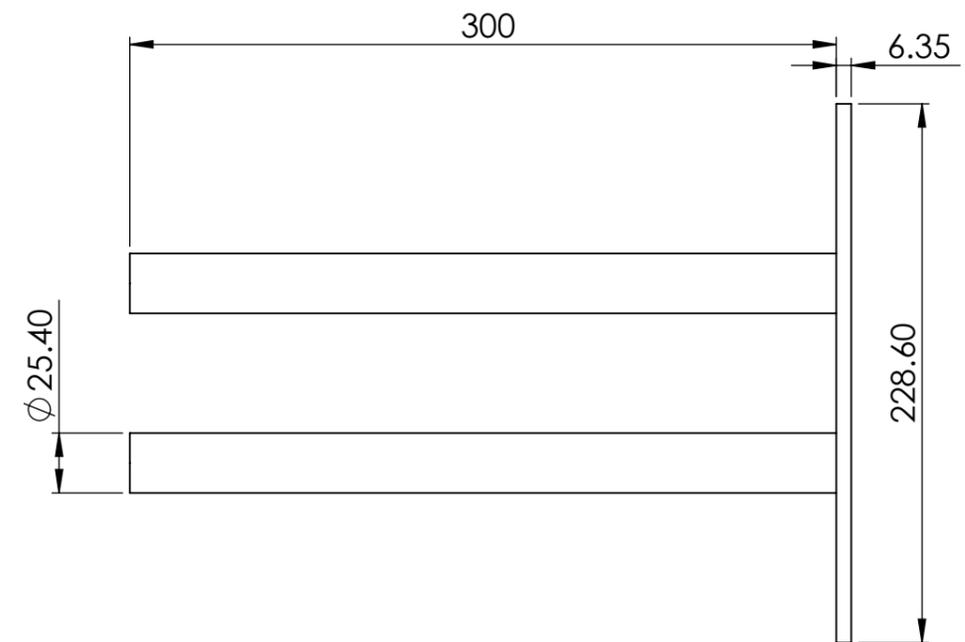
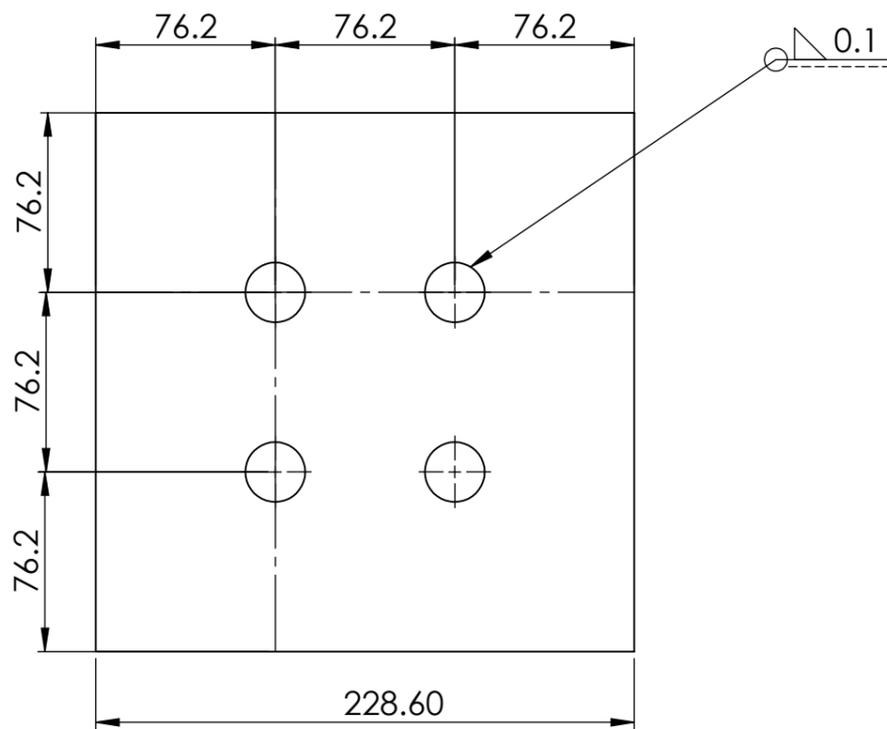
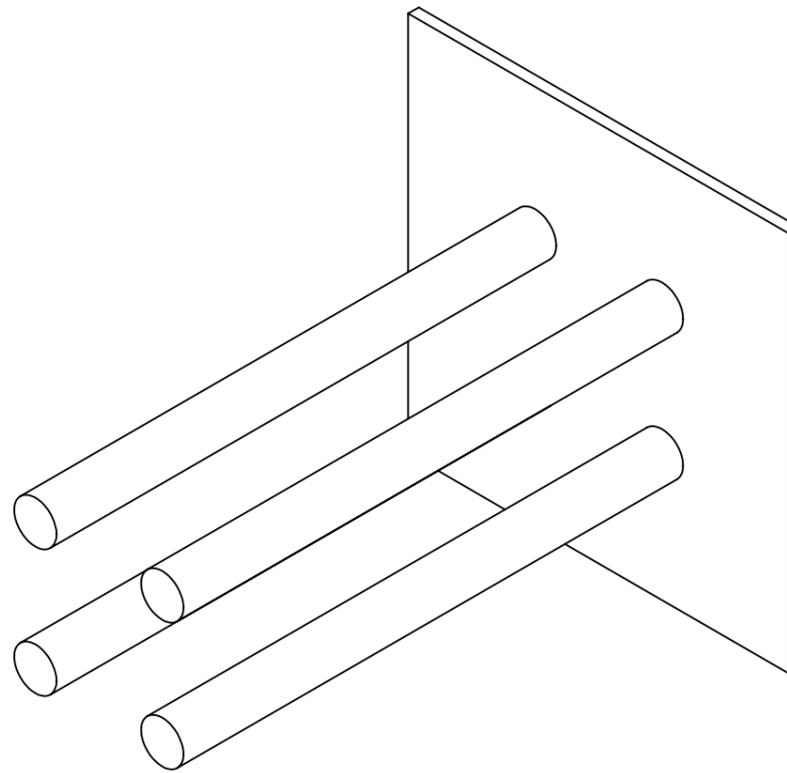
	Apellidos	Nombres	Firmas	
Dibujado	Lazo Espinoza	Sandor Mauricio		Universidad de El Salvador Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela de Ingeniería Mecánica
	Salguero Ramírez	Marvin René		
Comprobado	Torres Ríos Lazo	Gustavo Salomón		
Material	Aluminio y Acero			TBM-115 Trabajo de Graduación de Ingeniería Mecánica
Escala 1:2 Cotas en mm	Aleta Cilindrica Individual			
				Plano 7



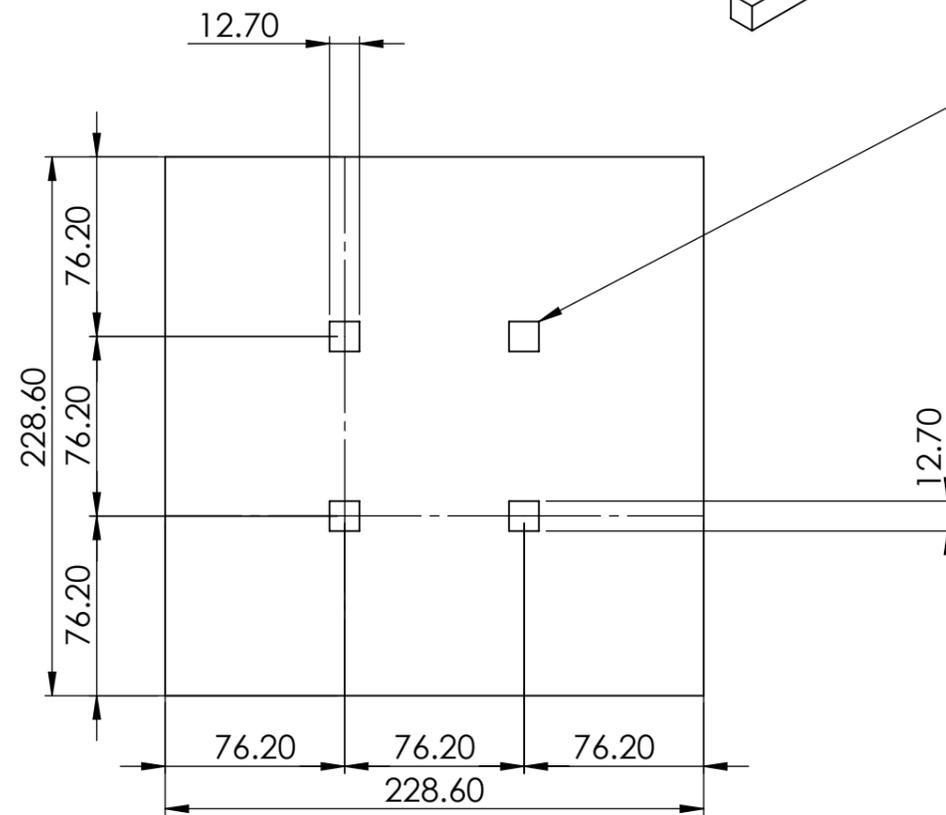
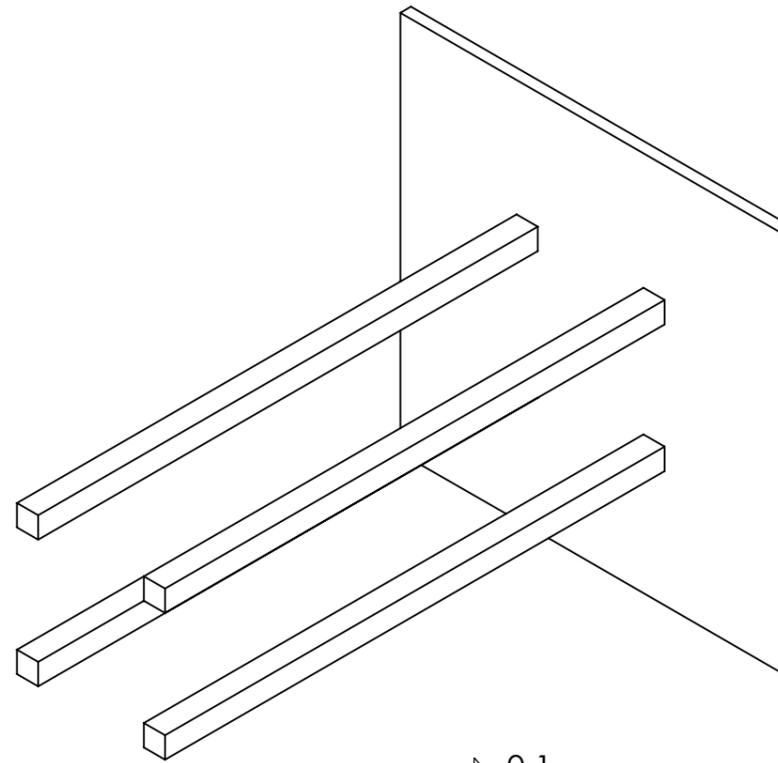
	Apellidos	Nombres	Firmas	
Dibujado	Lazo Espinoza	Sandor Mauricio		Universidad de El Salvador Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela de Ingeniería Mecánica
	Salguero Ramírez	Marvin René		
Comprobado	Torres Ríos Lazo	Gustavo Salomón		
Material	Aluminio y Acero			TBM-115 Trabajo de Graduación de Ingeniería Mecánica
Escala 1:2 Cotas en mm	Aleta Rectangular Individual			
				Plano 8



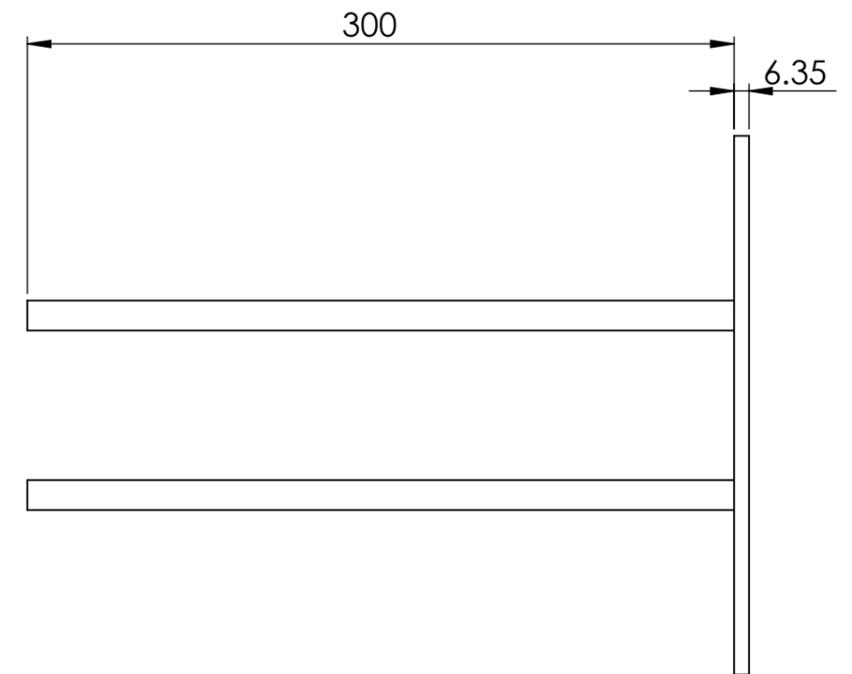
	Apellidos	Nombres	Firmas	
Dibujado	Lazo Espinoza	Sandor Mauricio		Universidad de El Salvador Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela de Ingeniería Mecánica
	Salguero Ramírez	Marvin René		
Comprobado	Torres Ríos Lazo	Gustavo Salomón		
Material	Aluminio y Acero			TBM-115 Trabajo de Graduación de Ingeniería Mecánica
Escala 1:3 Cotas en mm	Conjunto de Aletas Cónicas			
				Plano 9



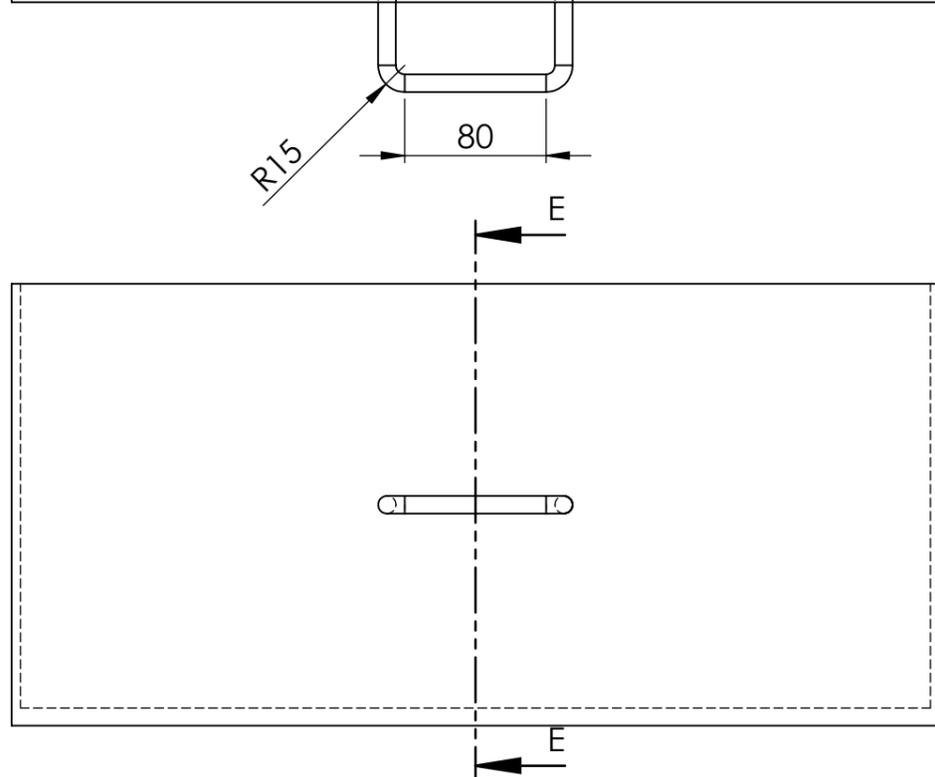
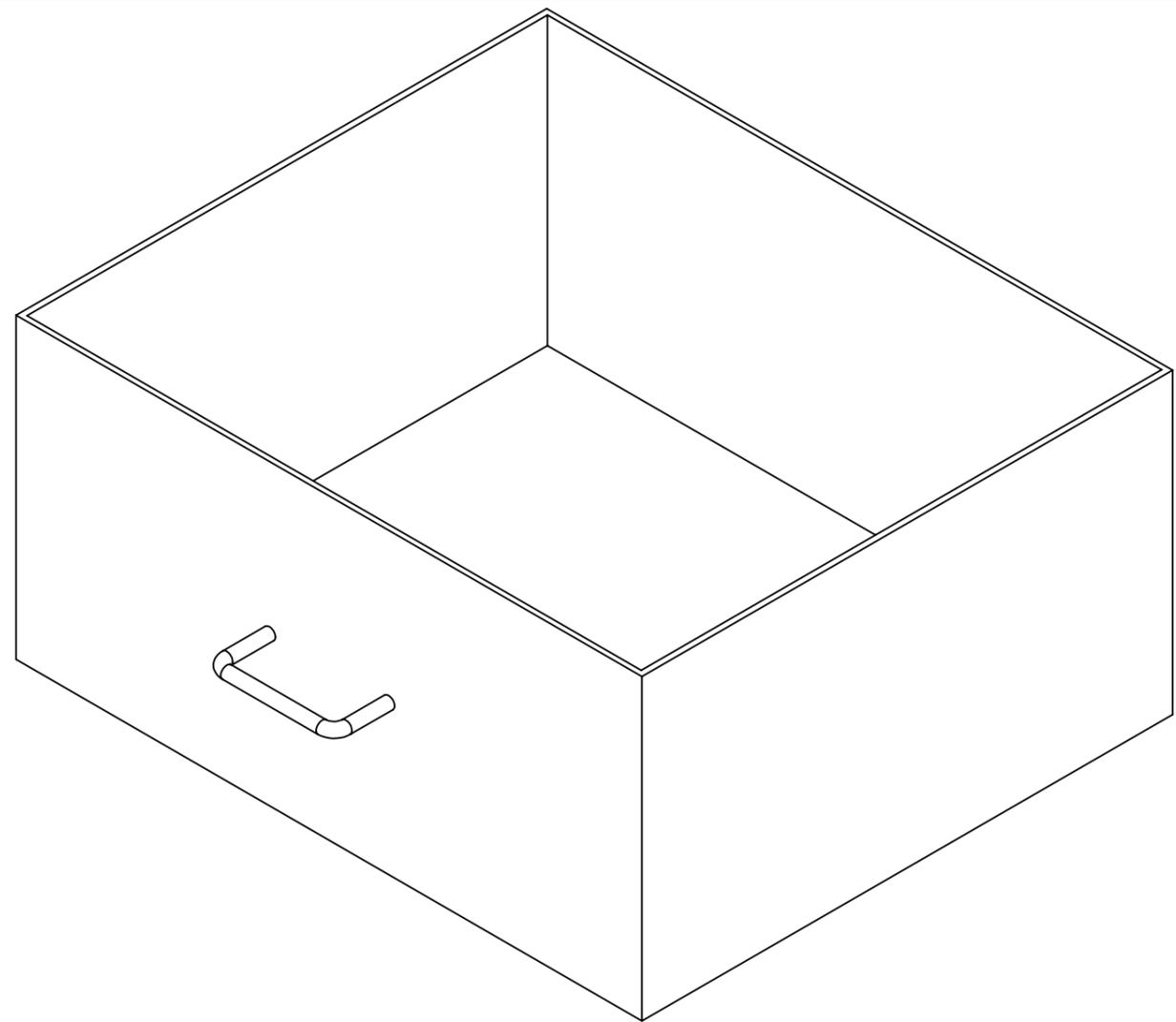
	Apellidos	Nombres	Firmas	
Dibujado	Lazo Espinoza	Sandor Mauricio		Universidad de El Salvador Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela de Ingeniería Mecánica
	Salguero Ramírez	Marvin René		
Comprobado	Torres Ríos Lazo	Gustavo Salomón		
Material	Aluminio y Acero			TBM-115 Trabajo de Graduación de Ingeniería Mecánica
Escala 1:3 Cotas en mm	Conjunto de Aletas Cilindricas			
				Plano 10



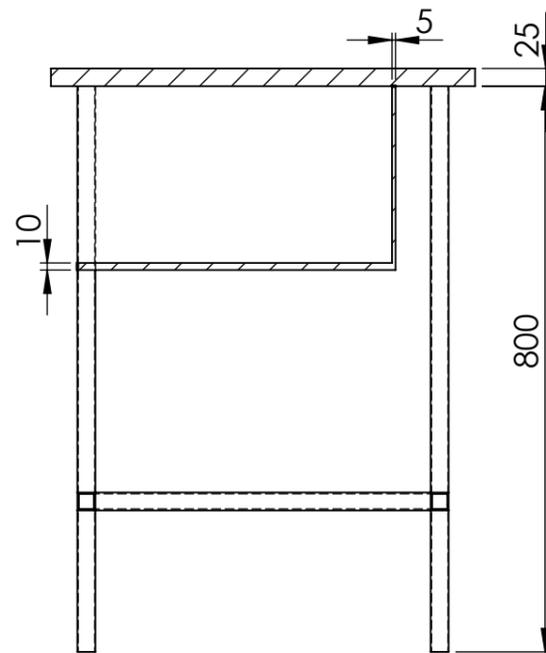
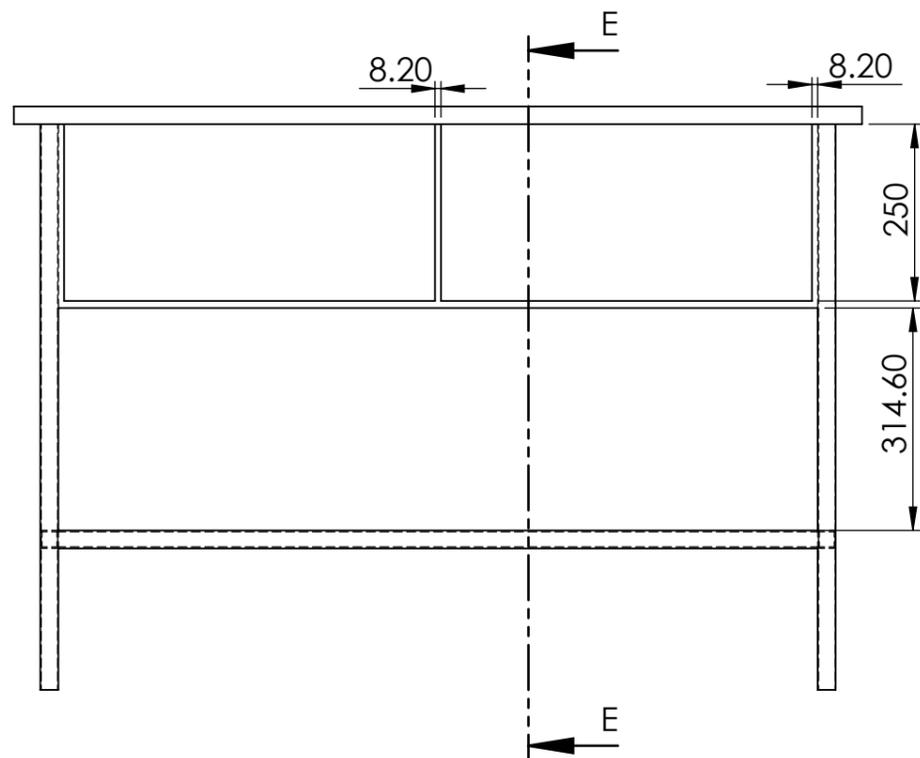
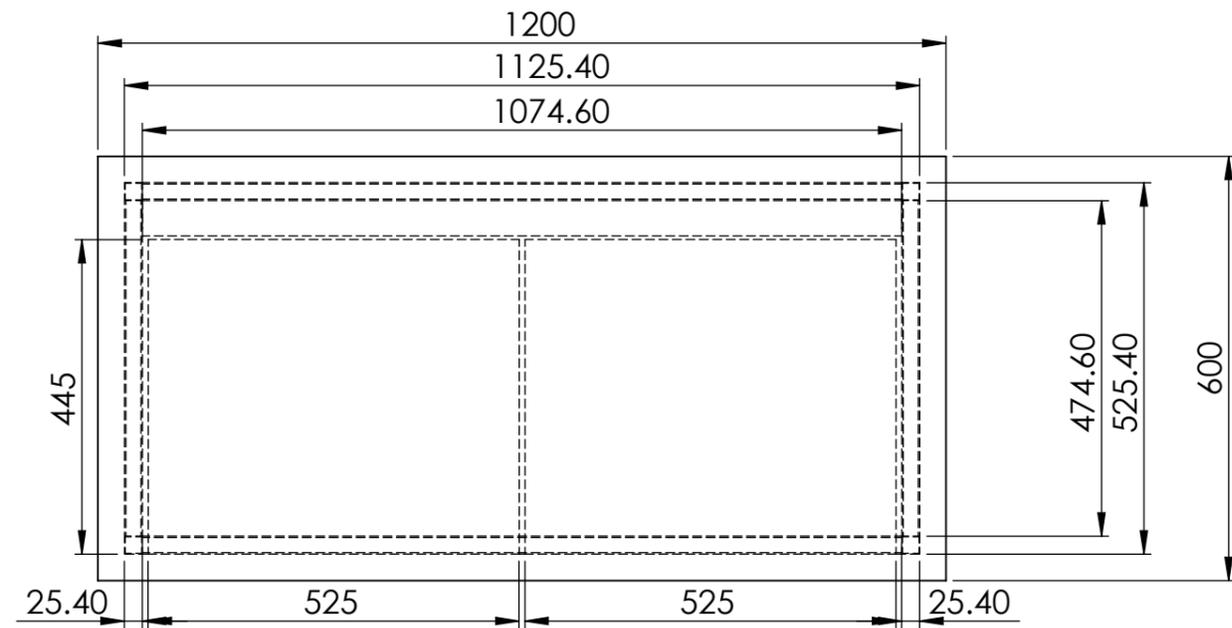
0.1



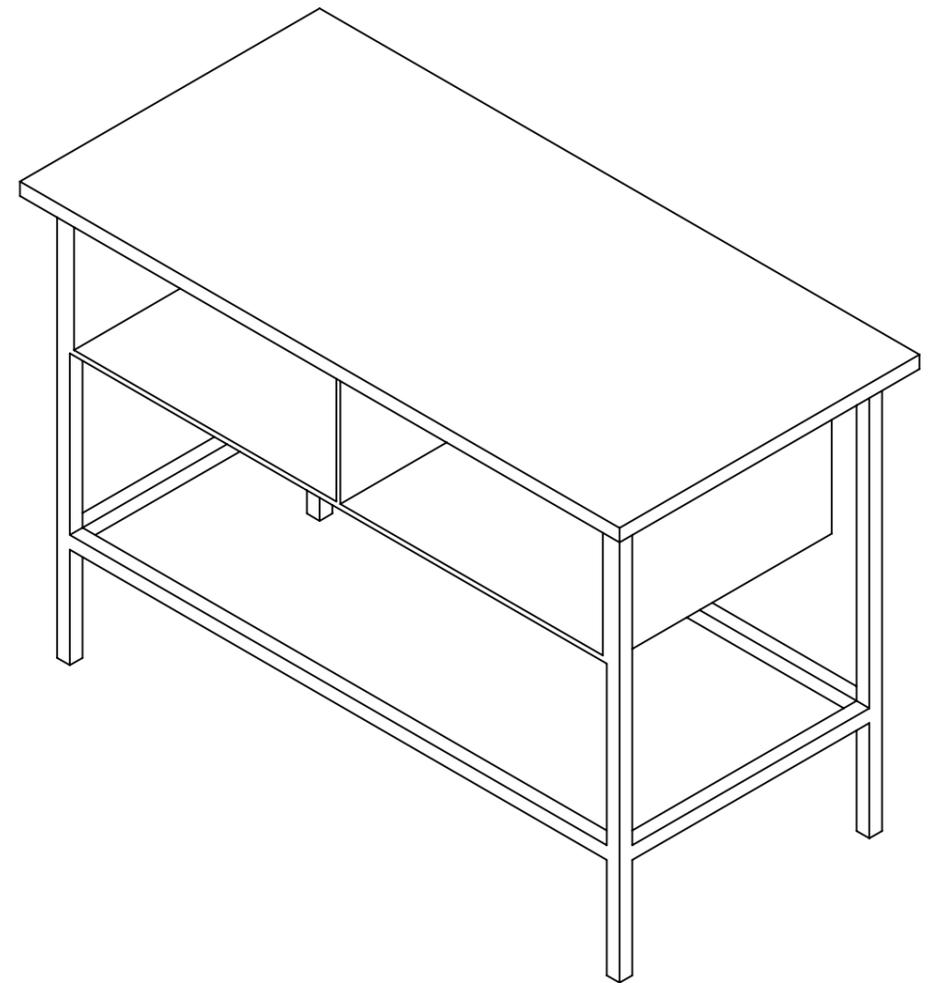
	Apellidos	Nombres	Firmas	
Dibujado	Lazo Espinoza	Sandor Mauricio		Universidad de El Salvador Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela de Ingeniería Mecánica
	Salguero Ramírez	Marvin René		
Comprobado	Torres Ríos Lazo	Gustavo Salomón		
Material	Aluminio y Acero			TBM-115 Trabajo de Graduación de Ingeniería Mecánica
Escala 1:3 Cotas en mm	Conjunto de Aletas Rectangulares			
				Plano 11



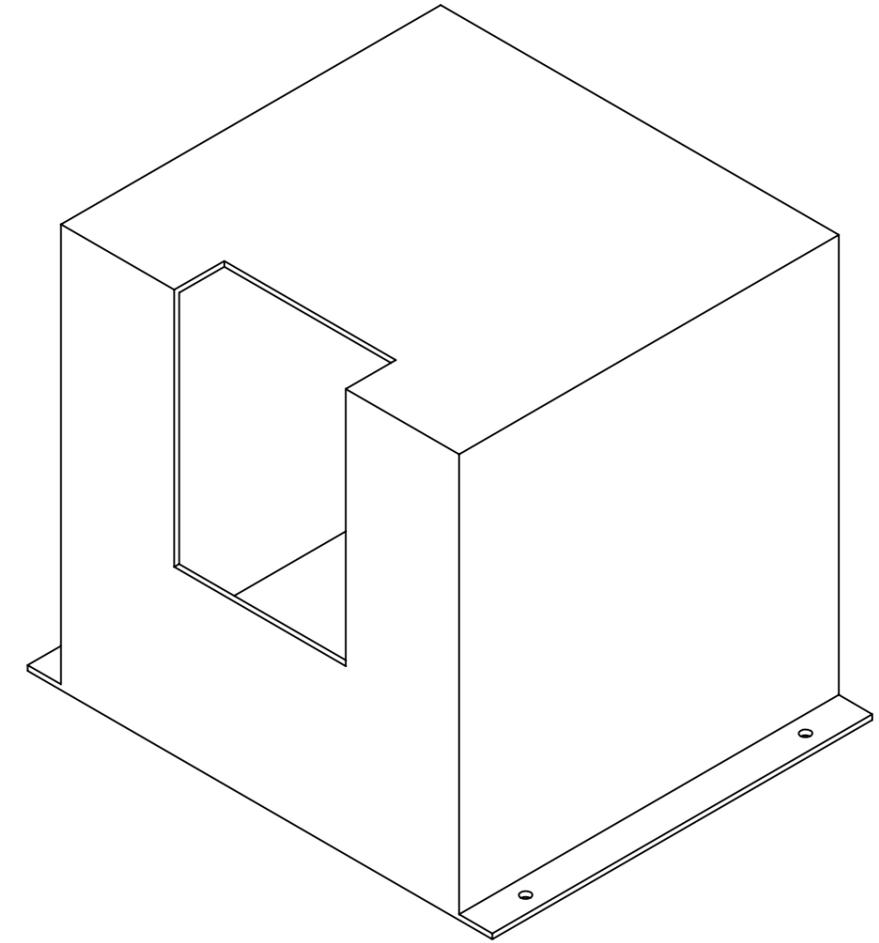
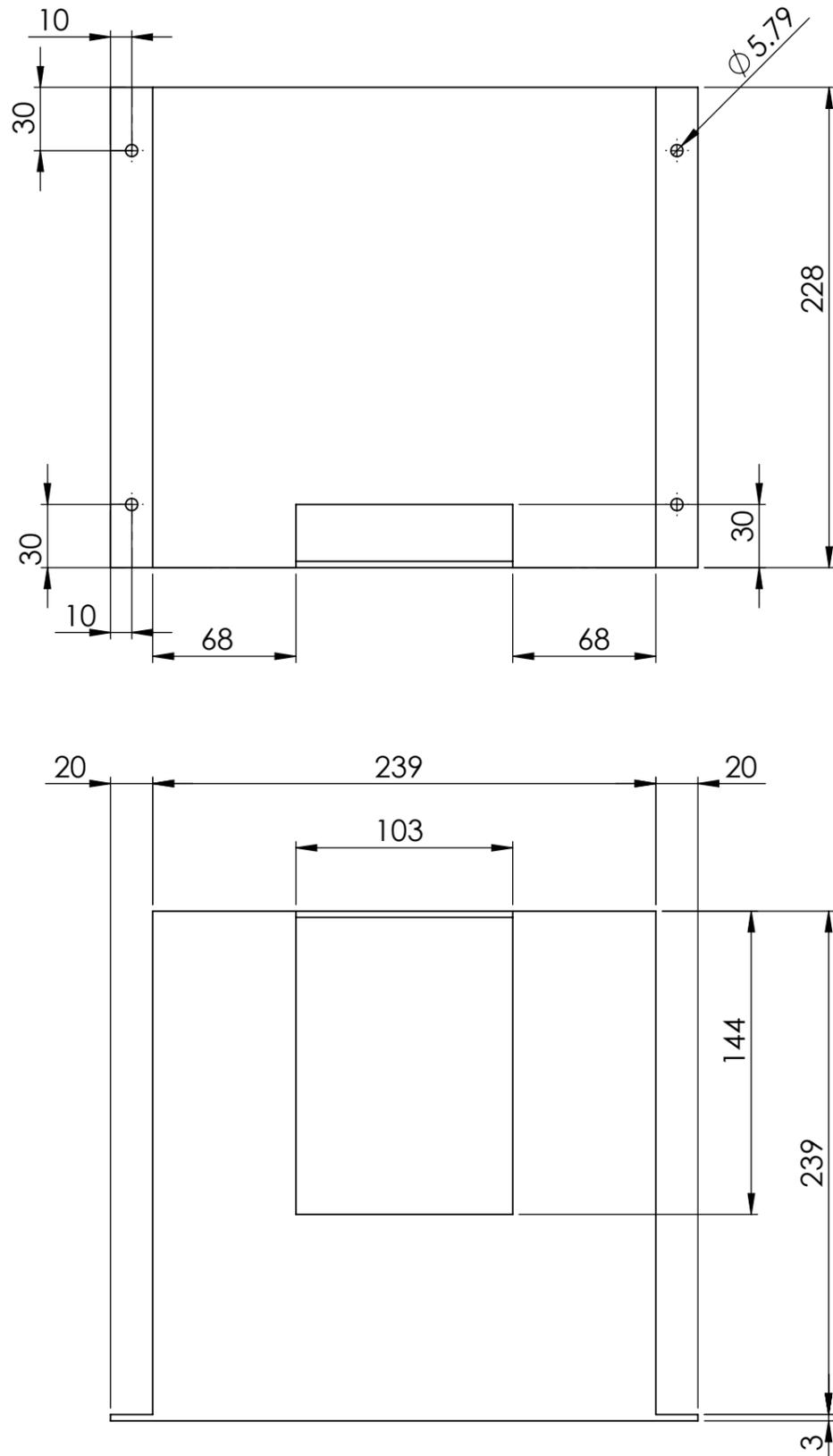
SECCIÓN I				Apellidos		Nombres		Firmas	
Dibujado	Lazo Espinoza	Sandor Mauricio							
	Salguero Ramírez	Marvin René							
Comprobado	Torres Ríos Lazo	Gustavo Salomón							
Material	Acero								
Escala 1:4 Cotas en mm	Gabetas de la Mesa								
									Universidad de El Salvador Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela de Ingeniería Mecánica
									TBM-115 Trabajo de Graduación de Ingeniería Mecánica
									Plano 12



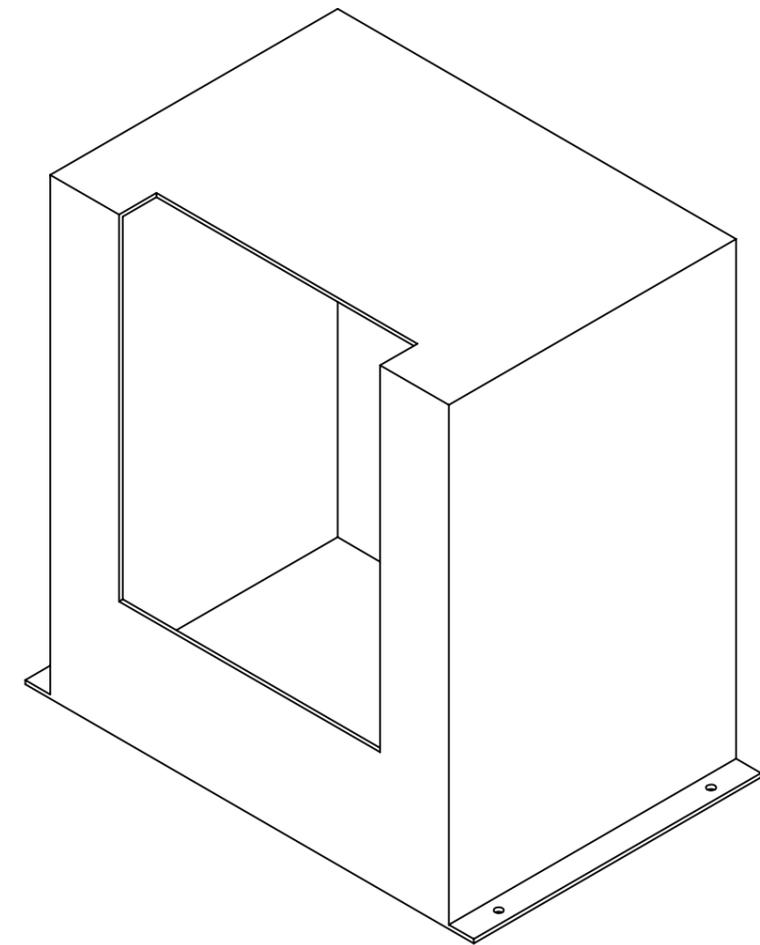
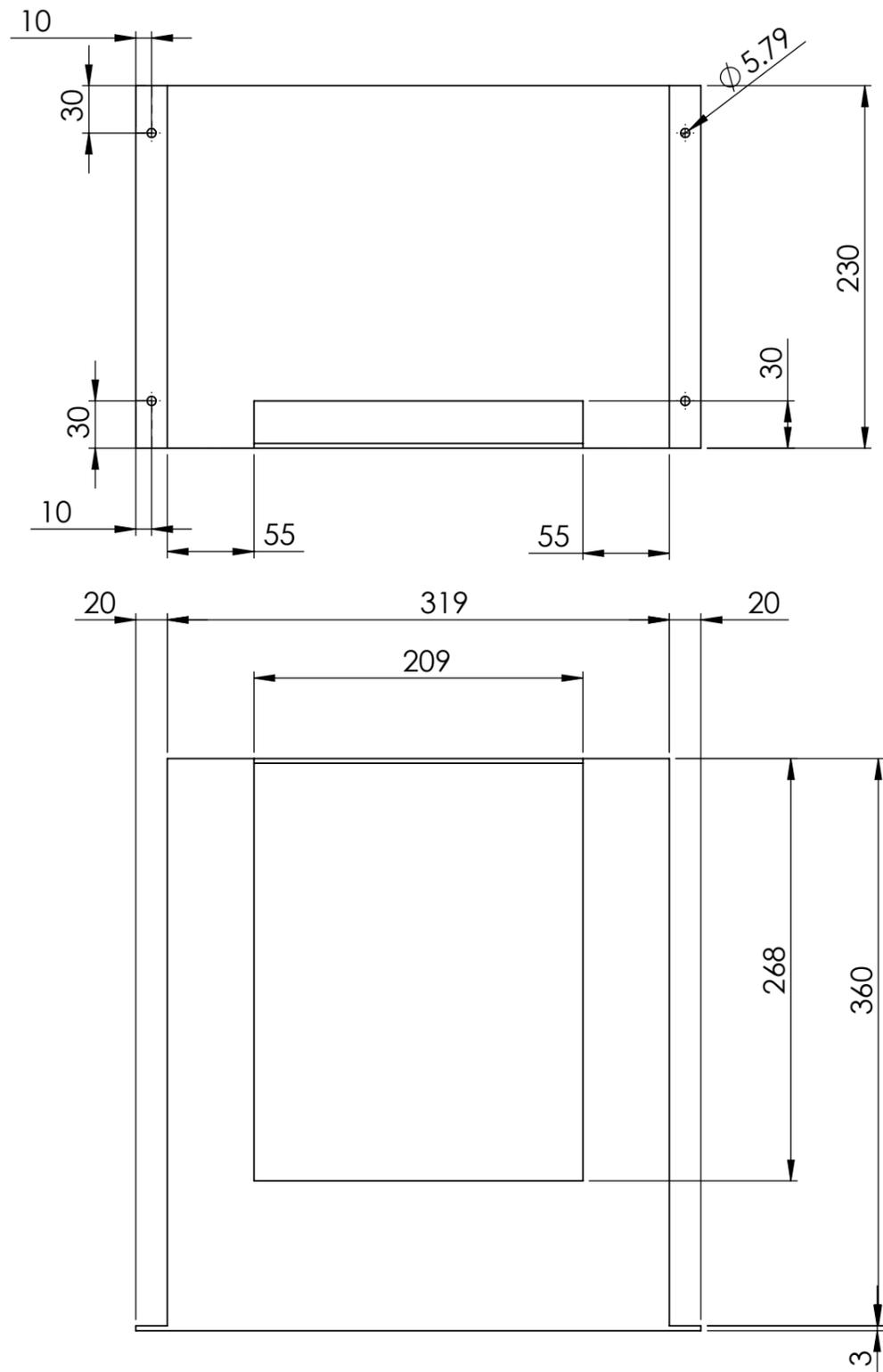
SECCIÓN E-E



	Apellidos	Nombres	Firmas	
Dibujado	Lazo Espinoza	Sandor Mauricio		Universidad de El Salvador Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela de Ingeniería Mecánica
	Salguero Ramírez	Marvin René		
Comprobado	Torres Ríos Lazo	Gustavo Salomón		
Material	Acero			TBM-115 Trabajo de Graduación de Ingeniería Mecánica
Escala 1:10 Cotas en mm	Mesa			
				Plano 13



	Apellidos	Nombres	Firmas	
Dibujado	Lazo Espinoza	Sandor Mauricio		Universidad de El Salvador Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela de Ingeniería Mecánica
	Salguero Ramírez	Marvin René		
Comprobado	Torres Ríos Lazo	Gustavo Salomón		
Material	Acero			TBM-115 Trabajo de Graduación de Ingeniería Mecánica
Escala 1:3 Cotas en mm	Protector para Calefactor de Aletas Individuales			
				Plano 14



	Apellidos	Nombres	Firmas	
Dibujado	Lazo Espinoza	Sandor Mauricio		Universidad de El Salvador Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela de Ingeniería Mecánica
	Salguero Ramírez	Marvin René		
Comprobado	Torres Ríos Lazo	Gustavo Salomón		
Material	Acero			TBM-115 Trabajo de Graduación de Ingeniería Mecánica
Escala 1:4 Cotas en mm	Protector para Calefactor de Aletas en conjunto			
				Plano 15