UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

TÍTULO:

ALGORITMO DE DISEÑO, MODELADO 3D Y SIMULACIÓN TÉRMICA PARA COMPARAR LA TEMPERATURA BASE EN DIFERENTES TIPOS DE SUPERFICIES EXTENDIDAS

TESIS DE GRADO PREVIO A OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECÁNICO

Autor: Erik Ricardo Quizhpe Calva

Director: Ing. Darwin Giovanny Tapia Peralta, Mg. Sc.

LOJA-ECUADOR
2021

CERTIFICACIÓN

Ing. Darwin Giovanny Tapia Peralta, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación cuyo tema versa en **"ALGORITMO DE DISEÑO, MODELADO 3D Y SIMULACIÓN TÉRMICA PARA COMPARAR LA TEMPERATURA BASE EN DIFERENTES TIPOS DE SUPERFICIES EXTENDIDAS",** previa a la obtención del título de **INGENIERO ELECTROMECÁNICO**, realizado por el señor egresado: **ERIK RICARDO QUIZHPE CALVA**, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 24 de agosto del 2020

Firmado electrónicamente por:
DARWIN GIOVANNY TAPIA PERALTA

Ing. Darwin Giovanny Tapia Peralta, Mg.Sc.

DIRECTOR DE TESIS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **ERIK RICARDO QUIZHPE CALVA**, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula: 1106050774

Fecha: 25/03/2021

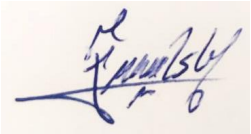
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO

Yo, **ERIK RICARDO QUIZHPE CALVA**, declaro ser autor de la tesis titulada: **"ALGORITMO DE DISEÑO, MODELADO 3D Y SIMULACIÓN TÉRMICA PARA COMPARAR LA TEMPERATURA BASE EN DIFERENTES TIPOS DE SUPERFICIES EXTENDIDAS",** como requisito para optar el grado de: **INGENIERO ELECTROMECÁNICO**; autorizo al sistema bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con los cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización en la ciudad de Loja a los veinte y cinco días del mes de marzo del dos mil veinte y uno.

Firma: 

Autor: Erik Ricardo Quizhpe Calva

Cédula: 1106050774

Dirección: Loja (San cayetano Alto, Av. José Coronel Illescas)

Correo electrónico personal: erickquizhpe1996@gmail.com

Correo electrónico institucional: erquizhpec@unl.edu.ec

Teléfono: 072 611 376 **Celular:** 0991580538

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Darwin Giovanny Tapia Peralta, Mg. Sc.

Tribunal de grado: Dr. Miguel Ángel Caraballo Núñez, Ph.D.
Ing. Byron Agustín Solórzano Castillo, Mg. Sc.
Ing. Carlos Gustavo Samaniego Ojeda, Mg. Sc

DEDICATORIA

La vida de las personas, carecería de sentido, si no se trazara metas a futuro, estas metas son, de manera fundamental, las proyecciones que hacemos de quienes deseamos ser, que deseamos hacer o donde deseamos estar en un tiempo venidero. De nada sirve haber cumplido con los objetivos planteados en una meta sino se es grato con los que ayudaron a realizarlos.

Con mucha gratitud dedico este proyecto de investigación primeramente a Dios por darme la vida y la fortaleza para lograr cumplir con mi objetivo planteado. A mis padres German y Rosa, que me inculcaron desde pequeño muchos valores y costumbres ejemplares, los cuales fueron la base fundamental para forjar lo que ahora soy. A mis hermanos (Paula, Mireya, Mary, Vanessa, Jimmy y Kevin), que estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y cariño a lo largo de mis estudios. En general a todas las personas, familiares y amigos por estar siempre pendiente de mí y extenderme su mano cuando lo he necesitado.

Erik Ricardo Quizhpe Calva

AGRADECIMIENTO

Después de haber culminado con mi proyecto de investigación, expreso mis más sinceros agradecimientos primordialmente a Dios por darme la fuerza y la sabiduría para seguir adelante. A mis padres y hermanos, por haberme brindado su apoyo incondicional, con el fin de que yo pueda alcanzar una de las metas más importantes en mi vida.

De igual manera expreso mi gratitud al cuerpo docente y administrativo de la carrera de Ingeniería Electromecánica, Facultad de la Energía, Las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables de la Universidad Nacional de Loja por impartirme una educación de calidad y brindarme sus conocimientos, que permitieron el desarrollo de mis estudios, hoy plasmados en el cumplimiento de esta meta.

A mi director de Tesis el Ing. Darwin Giovanny Tapia Peralta Mg. Sc., por su trabajo, esfuerzo y dedicación para avanzar con el desarrollo del proyecto, por sus incomparables consejos y enseñanzas, los mismos que destacan sus características de excelente Docente e invaluable persona.

Erik Ricardo Quizhpe Calva

TABLA DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS ..... **II**
DECLARACIÓN DE AUTORÍA ..... **III**
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR ..... **IV**
DEDICATORIA ..... **V**
AGRADECIMIENTO ..... **VI**
TABLA DE CONTENIDOS ..... **VII**
ÍNDICE DE FIGURAS ..... **X**
ÍNDICE DE TABLAS ..... **XII**
SIMBOLOGÍA ..... **XIII**
1. TÍTULO **1**
2. RESUMEN **2**
2.1. ABSTRACT **3**
3. INTRODUCCIÓN **4**
4. REVISIÓN DE LITERATURA **7**
4.1. Proyectos realizados acorde al tema de investigación **7**
4.2. Fundamentos de transferencia de calor **9**
4.2.1. Temperatura y calor 9
4.2.2. Transferencia de calor 9
4.2.3. Mecanismos de transferencia de calor 10
4.2.4. Ecuación general de conducción de calor 13
4.2.5. Conducción de calor unidimensional 14
4.2.6. Resistencia térmica por contacto 16
4.3. Superficies extendidas o aletas **17**
4.3.1. Definición de superficie extendida 17
4.3.2. Tipos de superficies extendidas 17
4.3.3. Ecuación general para las aletas 19
4.3.4. Aletas de sección transversal uniforme 19
4.3.5. Aletas de sección transversal variable 22
4.3.6. Eficiencia de las aletas 22

4.3.7. Efectividad de las aletas 23
4.3.8. Dispositivos de varias aletas (Eficiencia global) 27
4.3.9. Resistencia térmica de un arreglo 28
4.4. Algoritmos y diseño paramétrico 29
4.4.1. Algoritmo matemático 29
4.4.2. Lenguajes algorítmicos 30
4.4.3. Diseño paramétrico 31
4.5. Adquisición de datos de temperatura 33
4.5.1. Tipos de señales 33
4.5.2. Adquisición de datos 33
4.5.3. Métodos de medición de temperatura 35
4.5.4. Tipos de sensores de temperatura 36
4.6. Sistematización de información acerca del análisis de superficies extendidas 39
5. MATERIALES Y MÉTODOS 41
5.1. Materiales 41
5.2. Métodos 41
5.2.1. Implementación de la metodología de cálculo por resistencias térmicas para determinar el comportamiento de las superficies extendidas. 42
5.2.2. Planteamiento y programación del algoritmo en un software de cálculo 45
5.2.3. Vinculación del algoritmo programado con un software 3D de diseño paramétrico y de simulación Térmica. 48
5.2.4. Diseño y Construcción del módulo DAQ 50
6. RESULTADOS 54
6.1. Programación del algoritmo en Microsoft Excel 2019® 55
6.2. Vinculación entre Microsoft Excel® y SolidWorks® 64
6.3. Simulación térmica 68
6.4. Diseño y construcción del módulo DAQ para la validación del algoritmo 70
6.4.1. Potencia de la fuente de calor 71
6.4.2. Recubrimiento de la placa fuente de calor 72
6.4.3. Potencia disipada por los arreglos de aletas 75
6.4.4. Regulador de voltaje AC 86

6.4.5. Sistema DAQ 87
7. DISCUSIÓN 107
8. CONCLUSIONES 112
9. RECOMENDACIONES 114
10. BIBLIOGRAFÍA 115
11. ANEXOS 118

íNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diferencia entre temperatura y calor……... 9
Figura 2. Transferencia de calor a través de una pared plana…… 14
Figura 3. Transferencia de calor unidimensional, serie paralelo…… 15
Figura 4. Perfiles más comunes de aletas longitudinales…… 18
Figura 5. Perfiles más comunes de aletas radiales o transversales…… 18
Figura 6. Perfiles más comunes de aletas de aguja o espinas…….. 19
Figura 7. Arreglos representativos de aletas…….. 27
Figura 8. Noción del algoritmo…….. 29
Figura 9. Pseudocódigo para determinar si eres mayor de edad o no…… 31
Figura 10. Partes del sistema DAQ……... 34
Figura 11. Termocupla tipo J (Hierro, Cobre y Níquel) ……. 36
Figura 12. Termómetros de resistencia (RTD)…….. 37
Figura 13. Componentes de un termistor……... 37
Figura 14. Sensor infrarrojo de temperatura GY-906-BCC MLX90614ESF-BCC……... 38
Figura 15. Configuración del arreglo de aletas longitudinales y arreglo de aletas de aguja……. 40
Figura 16. Esquema de la metodología planteada para el desarrollo del proyecto …….. 42
Figura 17. Diseño 3D de un arreglo de aletas de perfil rectangular en SolidWorks® 2017……. 48
Figura 18. Vinculación de Microsoft Excel® 2019 con SolidWorks® 2017……... 49
Figura 19. Algoritmo para el diseño, modelación 3D y simulación térmica que permite comparar la temperatura base en diferentes tipos de superficies extendidas……. 55
Figura 20. Interfaz de la macro de presentación de la aplicación…….. 56
Figura 21. Interfaz de la hoja principal en Microsoft Excel® 2019…….. 56
Figura 22. Interfaz de la macro para superficies extendidas longitudinales…… 57
Figura 23. Interfaz de la macro para superficies extendidas tipo aguja…… 57
Figura 24. Hoja de programación de los botones de la aplicación…… 59
Figura 25. Hoja de cálculos (Aletas longitudinales) ……... 60
Figura 26. Hoja de resultados (Aletas longitudinales) …… 60
Figura 27. Tabla de ponderación (Aletas longitudinales) …… 61
Figura 28. Curva de distribución de temperatura en Microsoft Excel® (Aletas longitudinales) ….. 61
Figura 29. Hoja de cálculos (Aletas tipo aguja) …….. 62
Figura 30. Hoja de resultados (Aletas tipo aguja) ……. 62
Figura 31. Tabla de ponderación (Aletas tipo aguja) …… 63
Figura 32. Curva de distribución de temperatura en Microsoft Excel® 2019 (Aletas tipo aguja) ……. 63
Figura 33. Hoja de vinculación de Microsoft Excel 2019® con SolidWorks® 2017 (Aletas longitudinales) ……. 64
Figura 34. Hoja de vinculación de Microsoft Excel 2019® con SolidWorks® 2017 (Aletas tipo aguja) …….. 65
Figura 35. Cuadro de parámetros de la geometría del arreglo de aletas generada por SolidWorks®…… 66
Figura 36. Herramienta para actualizar datos del arreglo de aletas…….. 67
Figura 37. Arreglo de aletas longitudinales de perfil rectangular parametrizado…… 67
Figura 38. Iconos de para la asignación de parámetros en el estudio térmico……. 68
Figura 39. Representación de la simulación térmica en arreglo de aletas longitudinales…… 68
Figura 40. Obtención de la curva de distribución de temperatura en SolidWorks®……. 69
Figura 41. Curva de distribución de temperatura obtenida en SolidWorks® …….. 69
Figura 42. Módulo DAQ ……... 71

Figura 43. Diagrama unifilar del sistema DAQ ……. 71
Figura 44. Resistencias térmicas del aislamiento de la fuente de calor……..…….. 73
Figura 45. Dimensiones de los arreglos las aletas en metros (Longitudinal de perfil rectangular) …… 75
Figura 46. Dimensiones de los arreglos las aletas en metros (Aguja cilíndrica) …….. 76
Figura 47. Dimensiones de los arreglos las aletas en metros (Aguja cuadrada) …….. 76
Figura 48. Anemómetro ……..…… 77
Figura 49. Disposición alineada para el arreglo de aletas tipo aguja ……..……. 81
Figura 50. Diagrama unifilar del regulador de voltaje AC ……. 86
Figura 51. Tarjeta Arduino Mega 2560 …… 89
Figura 52. MAX6675-Amplificador operacional para la termocupla tipo K ……..…… 90
Figura 53. Conexión de las termocuplas ……..……... 90
Figura 54. Parte de la programación del panel frontal …….. 91
Figura 55. Parte de la programación del panel de bloques …… 91
Figura 56. Parte de la programación en IDE de Arduino …….. 92
Figura 57. Módulo de adquisición de datos de temperatura para superficies extendidas ….…….. 92
Figura 58. Multímetro digital (Termopar tipo K) …….. 93
Figura 59. Mediciones realizadas entre la termocupla de la fuente de calor y el multímetro …… 94
Figura 60. Mediciones realizadas entre la termocupla 1 y el multímetro …… 95
Figura 61. Mediciones realizadas entre la termocupla 2 y el multímetro …… 96
Figura 62. Mediciones realizadas entre la termocupla 3 y el multímetro …… 97
Figura 63. Mediciones realizadas entre la termocupla 4 y el multímetro …… 98
Figura 64. Curvas de distribución de temperatura (Aleta longitudinal de perfil rectangular) …… 100
Figura 65. Curvas de distribución de temperatura (Aleta tipo aguja cilíndrica) ……. 103
Figura 66. Curvas de distribución de temperatura (Aleta tipo aguja cuadrada) …….……. 105

íNDICE DE TABLAS

Tabla 1.Conductividad térmica a 273.5 K ……... 11
Tabla 2. Emisividades normales para varias superficies …….. 13
Tabla 3. Resumen de las ecuaciones para las cuatro condiciones de frontera en aletas de sección transversal uniforme ……. 21
Tabla 4. Resumen de las ecuaciones que rigen el comportamiento de diferentes perfiles …… 24
Tabla 5. Símbolos gráficos más utilizados para dibujar diagramas de flujo de algoritmos ……. 30
Tabla 6. Composición de tipos de termocuplas …… 36
Tabla 7. Variables de entrada para el análisis de aletas longitudinales …….. 42
Tabla 8. Mediciones de velocidad del viento y temperatura ambiental …… 77
Tabla 9. Datos de entrada para el análisis de aletas longitudinales ……..…… 82
Tabla 10. Resultados obtenidos para el arreglo de aletas longitudinales de perfil rectangular …… 82
Tabla 11. Datos de entrada para el análisis de aletas tipo aguja …… 83
Tabla 12. Resultados obtenidos para el arreglo de aletas tipo aguja cilíndrica ……..…….. 84
Tabla 13. Resultados obtenidos para el arreglo de aletas tipo aguja cuadrada …… 85
Tabla 14. Ventajas y desventajas de diferentes tipos de termocuplas …….. 87
Tabla 15. Características técnicas de diferentes tarjetas Arduino …… 88
Tabla 16. Mediciones obtenidas para la termocupla de la fuente de calor …… 94
Tabla 17. Mediciones obtenidas para la termocupla 1 ……. 95
Tabla 18. Mediciones obtenidas para la termocupla 2 ……. 96
Tabla 19. Mediciones obtenidas para la termocupla 3 ……. 97
Tabla 20. Mediciones obtenidas para la termocupla 4 ……. 98
Tabla 21. Datos obtenidos para el arreglo de aletas longitudinal de perfil rectangular ……..…….. 99
Tabla 22. Porcentaje de error entre los datos teóricos y experimentales ……. 99
Tabla 23. Porcentaje de error entre los datos simulados y experimentales …….. 99
Tabla 24. Porcentaje de error entre los datos teóricos y simulados …….. 100
Tabla 25. Datos obtenidos para el arreglo de aletas tipo aguja cilíndrica ……. 101
Tabla 26. Porcentaje de error entre los datos teóricos y experimentales …….. 102
Tabla 27. Porcentaje de error entre los datos simulados y experimentales …….. 102
Tabla 28. Porcentaje de error entre los datos teóricos y simulados ……. 102
Tabla 29. Datos obtenidos para el arreglo de aletas tipo aguja cuadrada …… 104
Tabla 30. Porcentaje de error entre los datos teóricos y experimentales ……. 104
Tabla 31. Porcentaje de error entre los datos simulados y experimentales …….. 104
Tabla 32. Porcentaje de error entre los datos teóricos y simulados ……..…… 104
Tabla 33. Resultados obtenidos para el arreglo de aletas tipo aguja ……..…….. 106
Tabla 34. Tabla de ponderación para el arreglo de aletas tipo aguja …….. 106

SIMBOLOGÍA

k	Conductividad térmica	p	Perímetro de una aleta
A	Área perpendicular a la dirección de transferencia de calor	θ	Exceso de temperatura
$\frac{dT}{dx}, \frac{dT}{dy}, \frac{dT}{dz}$	Gradiente de temperatura en la dirección “x”, “y”, “z”	m	Factor geométrico
h	Coeficiente de convección	$C_1\ y\ C_2$	Constantes arbitrarias cuyos valores dependen de las condiciones de frontera en la base y en la punta de la aleta
T_S	Temperatura superficial	L, b	Longitud de la aleta
T_α	Temperatura ambiental	T_b	Temperatura en la base
T_{alrd}	Temperatura de los alrededores	$f(x)$	Perfil variable de la aleta en función de "x"
ε	Emisividad de la superficie	η_f	Eficiencia de una aleta
σ	Constante de Stefan-Boltzmann	ε_{aleta}	Efectividad
$\dot{e}_{gen}$	Energía generada	b_c	Longitud corregida de la aleta
ρ	Densidad	$\mathcal{S}_b$	Espesor de la base de la aleta
C	Calor específico	r_c	Radio corregido
R_{total}	Resistencia térmica total del arreglo	η_0	Eficiencia total de un arreglo de aletas
R_{cond}	Resistencia térmica por conducción	A_t	Área de la parte expuesta de la base en los arreglos de aletas
R_{conv}	Resistencia térmica por convección	$R_{t,0}$	Resistencia térmica de un arreglo de aletas
R_C	Resistencia térmica por contacto	ADC	Convertidor analógico-digital
$A_{C,1}$	Área de contacto	fem	Fuerza electromotriz
h_C	Conductancia térmica por contacto	RTD	Resistance Temperature Detector
A_c	Área de la sección transversal de una aleta	PRT	Platinum Resistance Thermometer
NTC	Termistores con coeficiente térmico negativo	PTC	Termistores con coeficiente térmico positivo
S_T	Espaciamiento total del arreglo de aletas	N	Número de aletas
S	Espaciamiento individual	A_{ft}	Área total según el número de aletas
Sx	Espaciamiento en la dirección “x”	A_{Libre}	Área libre de aletas

Sy	Espaciamiento en la dirección “y”	A_T	Área total asociada con las aletas y la parte expuesta
U	Coeficiente global de transferencia de calor	μ_{aire}	Viscosidad dinámica del aire
ϑ_{aire}	Viscosidad cinemática del aire	Pr	Número de Prandtl
Ra_S	Número de Rayleigh considerando el espaciamiento "S" entre aletas	g	Aceleración gravitacional
β	Coeficiente de expansión volumétrica	Nu	Número de Nusselt
hr	Coeficiente de radiación	V_{max}	Velocidad máxima del aire
Red_{max}	Número de Reynolds para flujo cruzado sobre un cilindro	Nu_d	Número de Nusselt según la correlación de Zhukauskas
Pr_s	Número de Prandtl a la temperatura de la superficie	ST	Espaciado transversal de las aletas (distancia entre centros)
SL	Espaciado longitudinal de las aletas (distancia entre centros)		

1. TÍTULO

"ALGORITMO DE DISEÑO, MODELADO 3D Y SIMULACIÓN TÉRMICA PARA COMPARAR LA TEMPERATURA BASE EN DIFERENTES TIPOS DE SUPERFICIES EXTENDIDAS"

2. RESUMEN

En este proyecto de tesis se desarrolló un algoritmo orientado al diseño, modelado 3D y simulación térmica para comparar la temperatura base en diferentes tipos de superficies extendidas, el cual fue validado mediante un módulo DAQ realizado por el estudiante. Dicho algoritmo consiste en el seguimiento de pasos preestablecidos, los mismos que con la ayuda de dos softwares, uno de Cálculo (Microsoft Excel®) y otro de Modelado 3D y Simulación Térmica (SolidWorks®), se logra la comparación de la temperatura base en dichas superficies.

Primero se revisó y seleccionó bibliografía sobre análisis térmico en superficies extendidas, luego con la ayuda de un software de cálculo como lo es Microsoft Excel® se desarrolló una aplicación la cual permite analizar la temperatura en la base de las superficies y rediseñar el arreglo de aletas de acuerdo a los diferentes parámetros ingresados por el usuario, posteriormente se vinculó Microsoft Excel® con SolidWorks® a fin de obtener el modelo 3D parametrizado y la simulación térmica de dichas superficies, finalmente para la validación del algoritmo se desarrolló un módulo DAQ y con la ayuda de los softwares IDE de Arduino y LabVIEW® se obtuvo datos de temperatura en tiempo real.

Además de la comparación de la temperatura base, dicho algoritmo permite determinar qué tipo de superficie extendida es la más conveniente para mejorar la transferencia de calor en un dispositivo determinado, ya que incorpora en una tabla de ponderación: eficiencia, efectividad, flujo de calor y temperatura en la punta.

Palabras clave: algoritmo, diseño, modelado 3D, simulación, superficie extendida, módulo DAQ.

2.1. ABSTRACT

In this thesis project, an algorithm oriented to design, 3D modeling and thermal simulation was developed to compare the base temperature in different types of extended surfaces, which was validated by a DAQ module carried out by the student. This algorithm consists of following pre-established steps, the same as with the help of two softwares, one for Calculus (Microsoft Excel®) and another for 3D Modeling and Thermal Simulation (SolidWorks®), the comparison of the base temperature is achieved in said surfaces.

First, bibliography on thermal analysis on extended surfaces was reviewed and selected, then with the help of calculation software such as Microsoft Excel® an application was developed which allows to analyze the temperature at the base of the surfaces and redesign the fin arrangement According to the different parameters entered by the user, Microsoft Excel® was later linked with SolidWorks® in order to obtain the parameterized 3D model and the thermal simulation of said surfaces, finally, for the validation of the algorithm, a DAQ module was developed and with the help of IDE software from Arduino and LabVIEW®, temperature data was obtained in real time.

In addition to the comparison of the base temperature, this algorithm allows to determine what type of extended surface is the most convenient to improve heat transfer in a given device, since it incorporates on a weighting table: efficiency, effectiveness, heat flow and temperature at the tip.

Keywords: algorithm, design, 3D modeling, simulation, extended surface, DAQ module.

3. INTRODUCCIÓN

El uso de las superficies extendidas o 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, como: motores eléctricos, radiadores, computadoras, refrigeradoras, intercambiadores de calor entre otras, 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.

Los países industrializados han venido desarrollando herramientas tecnológicas para el análisis, simulación y modelado 3D (softwares) de diferentes componentes de máquinas, con el fin de realizar verificaciones y estudios detallados de los mismos sin necesidad de tenerlos físicamente. Por medio de algoritmos basados en modelos matemáticos, se ajustan los parámetros de diseño y simulación que posibilitan una construcción eficiente y de calidad.

En nuestro medio existen diversos softwares tanto de cálculo como de simulación y modelado 3D que permiten el análisis y el diseño parametrizado de los componentes de una máquina, pero su programación es compleja, ya que trabajan con lenguajes de programación de diversos niveles, que mucha de las veces no forman parte de la formación académica del diseñador, por lo que se busca plantear un algoritmo que sea de fácil uso y que además permita incorporar los requerimientos necesarios para el análisis, modelado 3D y simulación térmica de superficies extendidas.

Actualmente en nuestra región el análisis de las superficies extendidas es muy lento, debido a que aún se lo realiza de manera tradicional, es decir, se efectúa el procedimiento de análisis para cada superficie de forma manual, Además no existe una metodología rápida y eficiente que permita determinar qué tipo de superficie extendida es la más adecuada para realizar un trabajo determinado. De aquí nace la idea de investigación, buscando que el algoritmo desarrollado, sirva como una primera referencia para la selección de un tipo de superficie extendida en cuanto a eficiencia, efectividad, Flujo de calor, temperatura en la base y temperatura en la punta.

Por medio de este proyecto se desarrolló una aplicación, haciendo uso de software de ingeniería, como Microsoft Excel®, que es el programa de cálculo y SolidWorks®, software de diseño 3D, donde se generó el prototipo virtual para su simulación. La aplicación realiza la comparación entre

los diferentes subtipos de superficies extendidas tanto longitudinales como de aguja, donde los parámetros de entrada son: largo de la base, ancho de la base, espesor de la base, conductividad térmica de la base, espaciamiento entre aletas, longitud de la aleta, espesor del arreglo de aletas, conductividad térmica del arreglo, espesor de la base del arreglo, coeficiente de convección externo, temperatura externa, temperatura interna y conductancia por contacto.

La revisión de la literatura empieza con un breve resumen de los fundamentos para la transferencia de calor, luego se describe las ecuaciones que rigen el comportamiento de las superficies extendidas, posteriormente se realiza una sistematización de literatura sobre algoritmos matemáticos y diseños paramétricos con softwares de ingeniería y finalmente se hace una revisión sobre sistemas DAQ, que fueron la base teórica para el presente proyecto.

En la metodología planteada, primero se realizó la sistematización de información acerca de los tipos de superficies extendidas, para después seleccionar una metodología de cálculo que permita determinar el comportamiento de las mismas, siguiendo la metodología se procede al planteamiento y programación del algoritmo en un software de cálculo, posteriormente se procede a la vinculación del algoritmo programado en el software de cálculo con un software 3D de diseño paramétrico, seguidamente se valida el algoritmo con un módulo DAQ que represente la distribución de temperatura en tipos básicos de superficies extendidas.

Finalmente se expone la discusión, conclusiones y recomendaciones a las cuales se ha llegado al culminar este proyecto.

Los objetivos planteados para este proyecto son los siguientes:

Objetivo general:

- Desarrollar un algoritmo para el diseño, modelación 3D y simulación térmica que permita comparar la temperatura base en diferentes estructuras de superficies extendidas.

Objetivos específicos:

- Sistematizar la información acerca del análisis de superficies extendidas.
- Desarrollar un algoritmo para la parametrización y simulación térmica de tipos de superficies extendidas.

- Validar el algoritmo mediante un módulo DAQ sobre prácticas experimentales que represente la distribución de temperaturas en tipos básicos de superficies extendidas.
- Proponer una guía para el correcto uso del algoritmo desarrollado y del módulo de prácticas experimentales.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Proyectos realizados acorde al tema de investigación

A nivel local en la ciudad de Loja no se ha realizado proyectos acerca del análisis en superficies extendidas, sin embargo, en la Universidad Nacional de Loja se pueden encontrar algunas investigaciones que involucran el modelado matemático, el diseño y la programación de algoritmos y la vinculación paramétrica con softwares de modelado 3D, entre las más recientes tenemos:

- La tesis (Rivera, 2020), en la misma que se diseñó y desarrollo una herramienta computacional, para determinar el diámetro mínimo de ejes, sometidos a cargas cíclicas. La programación de los diferentes modelos matemáticos e interfaces gráficas, se realizaron en el entorno de desarrollo Java – NetBeans IDE 8.2, para luego establecer una comunicación con el software de diseño paramétrico Inventor Professional®, para obtener una representación virtual del eje final en 3D.
- La tesis (Ambuludi, 2016), la cual consistió en el desarrollo de una aplicación de software orientada al diseño mecánico parametrizado de un prototipo de bomba de pistón alternativa y sumergible. Utilizando el método de grafos dicromáticos se desarrolló un algoritmo de solución para el modelo matemático planteado y se lo programo en Microsoft Excel® para su posterior vinculación con Autodesk Inventor®.

A nivel nacional e internacional se han realizado un sinnúmero de investigaciones que evalúan el desempeño de las superficies extendidas, entre estas tenemos:

- La tesis (Almachi & Pilliza, 2013), la cual consiste en el Diseño y construcción de un equipo para el estudio de transferencia de calor en superficies extendidas en estado estable. El análisis se realiza para tres tipos de aleta: Aleta de sección circular constante de aluminio, Aleta de sección circular constante de acero y aleta triangular de acero. Mediante modelos matemáticos se obtiene la curva de distribución de temperatura a lo largo de las aletas y con la finalidad de validar dicho modelo se obtiene dos curvas más, una con la ayuda del software COMSOL 4.0 de modelado 3D y simulación térmica, y otra mediante la adquisición de datos de temperatura (sistema DAQ), esto se realiza con el propósito de

determinar cuan preciso es el banco de pruebas desarrollado para el análisis de este tipo de superficies.

- La tesis (Calderón & Chavez, 2018), donde se desarrolló un programa “Aleta Cilíndrica” basado en la solución numérica por diferencias finitas utilizando el software Matlab® y se demostró que la aplicación del mismo calcula las temperaturas nodales en una aleta cilíndrica. El error relativo porcentual entre las soluciones analíticas y numéricas de dicha investigación es menor al 0.15%, lo cual demuestra que los resultados son precisos.
- La tesis (Lazo & Salguero, 2017), en el cual se realiza un banco de pruebas para superficies extendidas con fines didácticos, de manera que se obtiene las curvas de distribución de temperatura en tiempo real de tres tipos de aguja (circular, cónica y cuadrada). En dicho trabajo de investigación se realiza la validación de las lecturas obtenidas a través de un sistema DAQ que incorpora sensores infrarrojos (MLX90614), al comprobar que los perfiles de temperatura teóricos y en tiempo real presenten la misma tendencia de decrecimiento a lo largo de las aletas.

4.2. Fundamentos de transferencia de calor

4.2.1. Temperatura y calor

Aunque el calor y la temperatura están relacionados entre sí, son sucesos muy diferentes, el calor es un tipo de energía en tránsito relacionada con el movimiento de átomos y moléculas, que siempre fluye desde el medio que posee la temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja, en cambio la temperatura es una medida de dicha energía. Por ejemplo, (Figura 1), si se hace hervir agua en dos recipientes de diferente tamaño, la temperatura alcanzada es la misma para los dos (100 °C), pero el que tiene más agua posee mayor cantidad de calor (Almachi & Pilliza, 2013).

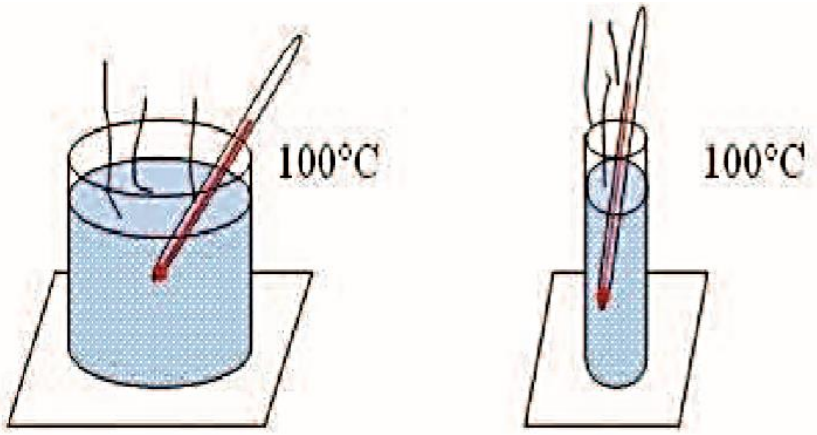


Figura 1. Diferencia entre temperatura y calor
Fuente: (Almachi & Pilliza, 2013)

4.2.2. Transferencia de calor

La transferencia de calor es la ciencia que estudia las razones del flujo de calor hacia un sistema y desde éste y, por lo tanto, los tiempos de enfriamiento o de calentamiento, así como de la variación de la temperatura en dichos sistemas. Para que exista transferencia de calor se requiere de una fuerza impulsora en este caso la diferencia de temperatura, al igual que la diferencia de tensión es la fuerza impulsora para el flujo de corriente eléctrica y la diferencia de presión es la fuerza impulsora para el flujo de fluidos, por lo cual mientras más grande es la diferencia de temperatura por unidad de longitud, mayor es la razón de transferencia de calor (Cengel & Ghajar, 2011).

4.2.3. Mecanismos de transferencia de calor

Todos los modos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio que posee la temperatura más elevada hacia uno de temperatura más baja. El proceso de transferencia se detiene cuando ambos alcanzan la misma temperatura. Entre los mecanismos de transferencia de calor tenemos: conducción, convección y radiación.

4.2.3.1. Conducción

Según (Cengel & Ghajar, 2011) la conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas y puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. En los gases y líquidos la conducción se debe a las colisiones y a la difusión[1] de las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una retícula (red) y al transporte de energía por parte de los electrones libres.

La ecuación para la conducción de calor se representa por la ley de Fourier como:

$$\dot{Q}_{cond} = -kA\frac{dT}{dx} \qquad \textit{Ecuación (1)}$$

Donde:

- El signo menos indica que el calor se transfiere en la dirección decreciente de la temperatura
- $k =$ Conductividad Térmica del material ($\mathrm{W/m \cdot k}$; $\mathrm{kCal/h \cdot m \cdot °C}$ ó $\mathrm{BTU/s \cdot ft \cdot °F}$)
- $A =$ Área perpendicular a la dirección de transferencia de calor (m^2 ó ft^2)
- $dT/dx =$ Gradiente de temperatura en la dirección “x”

[1] La difusión molecular es el movimiento térmico de todas las partículas (liquido o gas) a temperaturas por encima del cero absoluto.

Conductividad térmica

"La conductividad térmica es una medida de la capacidad que tiene el material para conducir el calor". (Cengel & Ghajar, 2011). A continuación, en la Tabla 1 se presenta la conductividad térmica de los materiales más comunes:

Tabla 1. Conductividad térmica a 273.5 K

Material	**Conductividad térmica**	
Metales:	$W/m°C$	$BTU/h \cdot ft \cdot °F$
Cobre	385	223
Aluminio	202	117
Hierro forjado (o Hierro dulce)	79,5	45,9
Acero al Carbón, 1%C	43	25
Plomo	45	20,3

Fuente: (Almachi & Pilliza, 2013)

4.2.3.2. Convección

Según (Cengel & Ghajar, 2011) la convección es la de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que está en movimiento. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección, es decir, la presencia de movimiento masivo del fluido acrecienta la transferencia de calor entre la superficie sólida y el fluido, pero también complica la determinación de las razones de esa transferencia.

Existen dos tipos de convección: forzada y natural

- **Convección forzada:** El flujo del fluido sobre la superficie es causado por medios externos como un ventilador, una bomba o vientos atmosféricos.
- **Convección natural (o libre):** El flujo del fluido sobre la superficie es provocado por fuerzas de empuje que surgen a partir de diferencias de densidad ocasionadas por la variación de temperatura en el fluido.

La ecuación o modelo para la convección se representa por la ley de Newton de enfriamiento (Cengel & Ghajar, 2011)

$$\dot{Q}_{conv} = hA_S(T_S - T_\alpha) \qquad \textit{Ecuación (2)}$$

Donde:

- $h =$ Es el coeficiente de transferencia de calor por convección ($W/m^2 \cdot °C$)
- $A_S =$ Es el área superficial a través de la cual tiene lugar la transferencia de calor (m^2)
- $T_S \; y \; T_\alpha =$ Son la temperatura superficial y ambiental respectivamente (°C)

En el cálculo del coeficiente de convección "h" intervienen ciertos números adimensionales tales como: el número de Nusselt[2], número de Prandtl[3], número de Reynolds[4], número de Grashof [5] y el número de Rayleigh[6], y la aplicación de cada uno depende de las condiciones en las que se encuentre la superficie en estudio. En el ANEXO 1 se encuentra una tabla resumida para las expresiones de estos números adimensionales en diversas condiciones.

4.2.3.3. Radiación

La radiación es un mecanismo de transferencia de calor que no requiere de un medio de transmisión, sino que se produce como resultado de la emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas (fotones), además este modo de transferencia no sufre atenuación en el vacío (Almachi & Pilliza, 2013).

La ecuación o modelo para la Radiación se representa por la ley de Stefan-Boltzmann (Cengel & Ghajar, 2011)

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{alred}^4) \qquad \textit{Ecuación (3)}$$

Donde:

- $\varepsilon =$ Emisividad de la superficie, indica cuan próxima está la superficie en ser un cuerpo negro ($0 \leq \varepsilon \leq 1$)

[2] El número de Nusselt representa la mejora de la transferencia de calor a través de una capa de fluido como resultado de la convección en relación con la conducción
[3] El número de Prandtl es una medida de las magnitudes relativas de la difusividad del momento y la difusividad del calor, además solamente cambia con la temperatura, pero no con la presión.
[4] El número de Reynolds es la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas, y sirve como criterio para determinar el régimen de flujo.
[5] El número de Grashof representa la razón entre la fuerza de flotabilidad y la fuerza viscosa que actúan sobre el fluido, rige el régimen de flujo en la convección natural.
[6] El número de Rayleigh es el producto entre el número de Grashof y el número de Prandtl.

- $\sigma =$ Constante de Stefan-Boltzmann $(5{,}67 \bullet 10^{-8}\ W/m^2 \bullet K^4)$
- $A_s =$ Área superficial (m^2 ó ft^2)
- $T_s\ y\ T_{alrd} =$ Son la temperatura superficial y de los alrededores respectivamente (K ó R)

A continuación, en la Tabla 2 se presenta la emisividad de varias superficies:

Tabla 2. Emisividades normales para varias superficies

Material	Emisividad	Temperatura (°F)	Descripción
Aluminio	0,09	212	Chapa comercial
Óxido aluminio	0,63 a 0,42	530 a 930	
Pintura aluminio	0,27 a 0,67	212	Según edad y % Al
Bronce	0,22	120 a 660	Placa mate
Cobre	0,16 a 0,13 0,023	1970 a 2330 242	Fundido Pulido
Óxido Cobre	0,66 a 0,54	1470 a 2012	
Hierro	0,21 0,55 a 0,60 0,24	392 1650 a 1900 68	Fundición pulida Chapa Lisa Esmerilado reciente
Óxido Hierro	0,85 a 0,89	930 a 2190	
Acero	0,79 0,66 0,28	390 a 1110 70 2910 a 3270	Oxidado a 1110 °F Chapa laminada Fundido

Fuente: (Fernández, 1992)

4.2.4. Ecuación general de conducción de calor

En algunas aplicaciones prácticas se necesita considerar la transferencia de calor en diferentes direcciones, por lo cual se dice que la conducción de calor es multidimensional. La ecuación diferencial en coordenadas cartesianas que rige tales sistemas es la siguiente:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(k\frac{\partial T}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(k\frac{\partial T}{\partial z}\right)+\dot{e}_{gen}=\rho C\frac{\partial T}{\partial t} \qquad \textit{Ecuación (4)}$$

Sin embargo, la mayor parte de los problemas de transferencia de calor que se encuentran en la práctica se pueden aproximar como si fueran unidimensionales.

4.2.5. Conducción de calor unidimensional

Este sistema permite explicar varios fenómenos en la naturaleza de forma más simplificada, ya que se puede considerar la conducción de calor dominante en una sola dirección y despreciable en las demás, tal es el caso de: una pared plana grande, el vidrio de una ventana de una sola hoja, un tubo de vapor para agua de hierro fundido, una resistencia eléctrica de alambre, una pared de un recipiente esférico, etc. (Cengel & Ghajar, 2011).

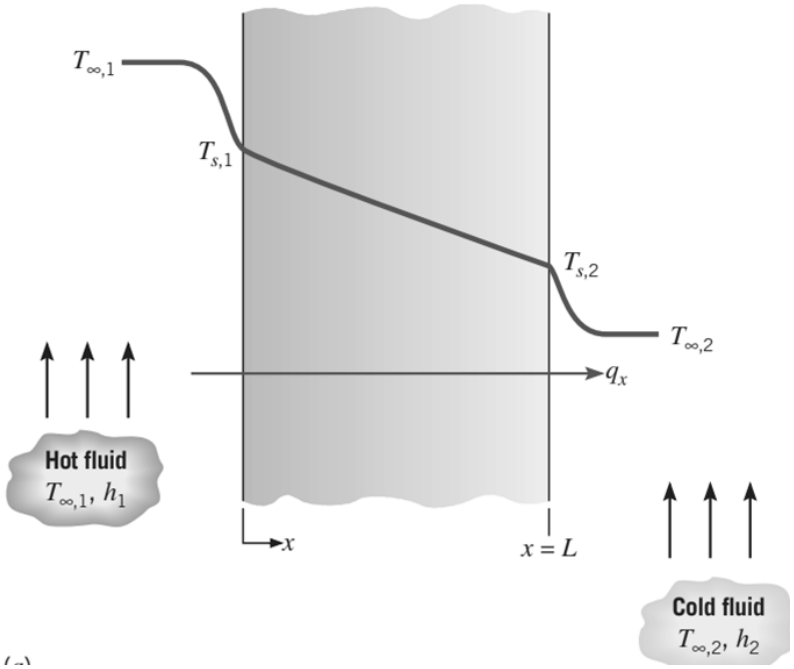


Figura 2. Transferencia de calor a través de una pared plana
Fuente: (Incropera & DeWITT, 1999)

El caso general que se tiene, es el estudio de la pared plana, Figura 2, donde la temperatura es una función solo de la coordenada "x", y el calor se transfiere exclusivamente en esa dirección.

Para el caso de conducción de calor unidimensional en régimen estacionario sin generación de calor se tiene la siguiente expresión:

$$\frac{d}{dx}\left(k\frac{dT}{dx}\right) = 0 \qquad \textit{Ecuación (5)}$$

En aplicaciones prácticas, interactúan varias paredes de diferentes materiales expuestas en sus extremos a un fluido, por lo cual resulta más conveniente aplicar la metodología de resistencias térmicas como se puede observar en la Figura 3.

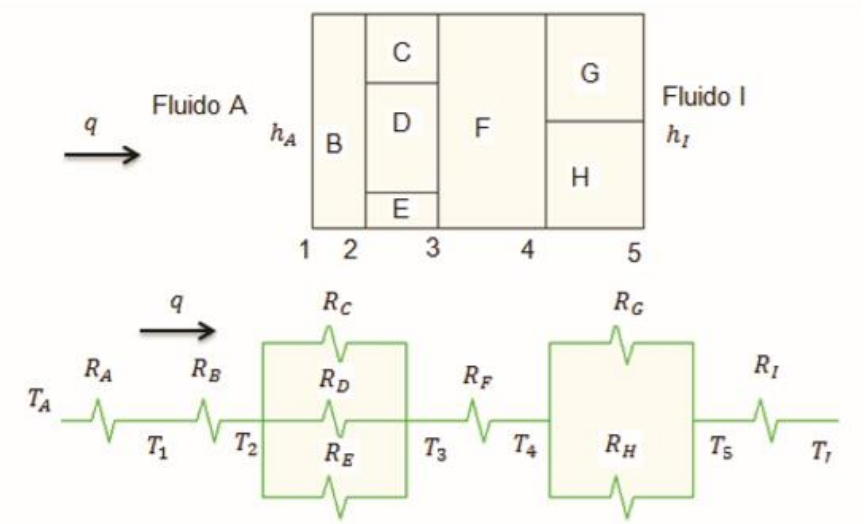


Figura 3. Transferencia de calor unidimensional, serie paralelo
Fuente: (Almachi & Pilliza, 2013)

En este tipo de arreglos, el flujo de calor unidimensional queda determinado por la ecuación 6

$$\dot{Q}_{cond,pared} = \frac{T_1 - T_2}{R_{total}} \qquad \textit{Ecuación (6)}$$

Donde:

- $R_{total} =$ Es la resistencia total del arreglo (˚C/W)

Y, las resistencias térmicas tanto para la conducción como para la convección quedan definidas por las ecuaciones 7 y 8 respectivamente,

$$R_{cond} = L/kA \qquad \textit{Ecuación (7)}$$

$$R_{conv} = 1/hA \qquad \textit{Ecuación (8)}$$

Este método de análisis por resistencias térmicas es uno de los más utilizados debido a su simplicidad y fácil entendimiento, sin embargo, existe otro método de cálculo basado en diferencias finitas, el cual permite discretizar las ecuaciones diferenciales al reemplazarlas como

diferencias algebraicas, pero este procedimiento es algo extenso ya que se obtienen un número elevado de ecuaciones que van de acuerdo a los nodos o puntos en análisis.

4.2.6. Resistencia térmica por contacto

En la realidad incluso las superficies planas que aparentan estar lisas a simple vista, resultan estar ásperas cuando se examinan con un microscopio. Al poner en contacto dos superficies se generan brechas de aire de dimensiones variables que actúan como aislante debido a la baja conductividad térmica del aire. Por lo tanto, dicho contacto presenta resistencia a la transferencia de calor, y esta resistencia por unidad de área se llama resistencia térmica por contacto (Cengel & Ghajar, 2011).

La resistencia térmica por contacto depende de:

- Condición y asperezas de la superficie.
- Temperatura y presión de las interfaces.

La expresión que define a la resistencia térmica por contacto está dada por la siguiente ecuación:

$$R_C = \frac{1}{A_{C,1} h_C} \qquad \textit{Ecuación (9)}$$

Donde:

- $h_C =$ Conductancia térmica de contacto $(W/m^{2\circ}C)$
- $A_{C,1} =$ Área de contacto (m^2)

4.3. Superficies extendidas o aletas

4.3.1. Definición de superficie extendida

Al hablar de superficie extendida o aleta se hace referencia a un sólido que experimenta transferencia de energía por conducción dentro de sus límites, así como transferencia de energía por convección (y/o radicación) entre sus límites y los alrededores (Incropera & DeWITT, 1999). Estas superficies son utilizadas de manera específica para aumentar la rapidez de transferencia de calor entre un sólido y un fluido contiguo al incrementar el área superficial. Pueden ser fabricadas al extruir o soldar delgadas láminas metálicas (hechas de materiales intensamente conductores) sobre la superficie deseada.

Al hablar del análisis numérico de superficies extendidas se hace referencia un tema demasiado extenso, ya que involucra un sinnúmero de consideraciones que deben tomar en cuenta, tales como: disposición de las aletas, forma geométrica del dispositivo sobre el cual se va a ubicar el arreglo de aletas, factores que intervienen en el coeficiente de convección, entre otros. Por lo cual resulta conveniente delimitar el tema con el fin de simplificar el análisis.

4.3.2. Tipos de superficies extendidas

Las superficies extendidas varían según su geometría y ecuaciones resultantes, en la actualidad los arreglos más comunes que se pueden encontrar de estas superficies son: longitudinales, radiales o transversales y espinas. De acuerdo a ello se puede denotar que estos tipos de arreglos de aletas pueden ser ubicados en dispositivos que presenten diferente configuración geométrica (tubular, plana o esférica).

4.3.2.1. Aletas longitudinales

Son aquellas aletas que están prolongadas a lo largo de la superficie. En la industria son usadas ampliamente en intercambiadores de tubo y coraza cuando el flujo procede a lo largo del eje del tubo, además, también son utilizados en dispositivos que involucran gases y líquidos viscosos que estén en régimen laminar (Almachi & Pilliza, 2013).

Los perfiles más comunes que se pueden encontrar son: rectangulares, triangulares y parabólicas (Figura 4).

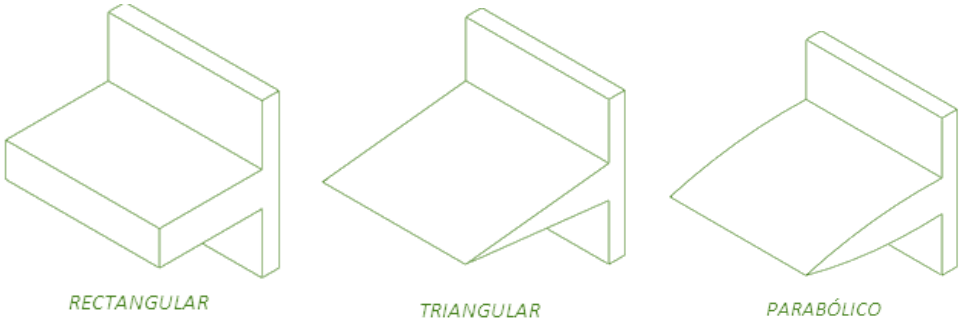


Figura 4. Perfiles más comunes de aletas longitudinales
Fuente: (Cengel & Ghajar, 2011)

4.3.2.2. Aletas radiales o transversales

Son como discos anulares concéntricos ubicados alrededor de un cilindro, el espesor puede ser uniforme o variable según su aplicación. En la industria son usadas ampliamente para el calentamiento o enfriamiento de gases en flujo cruzado. (Almachi & Pilliza, 2013)

Los perfiles más comunes que se pueden encontrar son: rectangulares y triangulares (Figura 5)

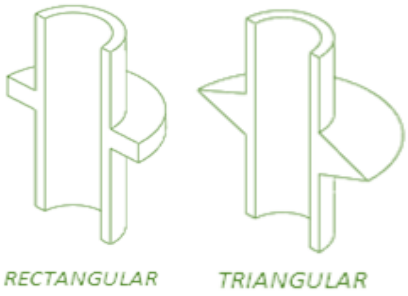


Figura 5. Perfiles más comunes de aletas radiales o transversales
Fuente: (Cengel & Ghajar, 2011)

4.3.2.3. Aletas de aguja o espinas

Son superficies prolongadas de sección transversal circular, que puede ser uniforme o no uniforme a lo largo de la aleta. En la industria son usadas para dispositivos con flujo longitudinal o flujo cruzado (Almachi & Pilliza, 2013).

Los perfiles más comunes que se pueden encontrar son: circular, cuadrada, triangular, parabólico (Figura 6).

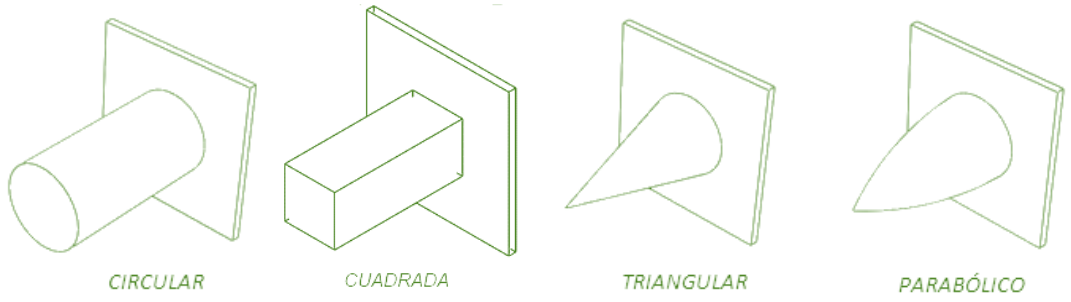


Figura 6. Perfiles más comunes de aletas de aguja o espinas
Fuente: (Cengel & Ghajar, 2011)

4.3.3. Ecuación general para las aletas

Por conveniencia en el análisis de estas superficies algunos autores se basan en una serie de suposiciones con el fin de facilitar los cálculos:

1. Operación estacionaria sin generación de calor en las aletas.
2. La Conductividad térmica del material permanece constante.
3. La conducción de calor es continua y unidireccional.
4. El coeficiente de convección es constante y uniforme sobre toda la superficie de la aleta.
5. La temperatura en la base de aleta es constante sobre toda la superficie
6. Se desprecia los gradientes de temperatura a lo largo del espesor, ya que es demasiado pequeño comparado con el ancho.
7. La radiación desde la superficie es insignificante.

De manera que al efectuar un balance de energía y resolver las ecuaciones diferenciales correspondientes resulta la siguiente ecuación general (Cengel & Ghajar, 2011).

$$\frac{d}{dx}\left(kA_c\frac{dT}{dx}\right) - hp(T - T\alpha) = 0 \qquad \textit{Ecuación (10)}$$

4.3.4. Aletas de sección transversal uniforme

Si tomamos en consideración que la sección transversal de la aleta y su conductividad son constantes la expresión anterior se reduce a:

$$\frac{d^2T}{dx^2} - \frac{hp}{kA_c}(T - T\alpha) = 0 \qquad \textit{Ecuación (11)}$$

Donde

$$\theta = (T - T\alpha) \qquad \textit{Ecuación (12)}$$

$$m = \sqrt{\frac{hp}{kA_c}} \qquad \textit{Ecuación (13)}$$

Con el fin de simplificar la Ecuación (10) se utiliza la siguiente expresión $\theta(x) = T(x) - T\infty$, y se obtiene una ecuación diferencial lineal de segundo orden homogéneo con coeficientes constantes.

$$\theta(x) = C_1 e^{mx} + C_2 e^{-mx} \qquad \textit{Ecuación (14)}$$

Según (Cengel & Ghajar, 2011) en la punta de aleta se pueden tener cuatro posibilidades tales como: temperatura específica, pérdida de calor despreciable (Punta aislada o adiabática), aleta infinitamente larga, convección o convección y radiación combinadas, esta última es la condición de frontera que más se puede encontrar en la práctica.

En la tabla 3 se puede visualizar un resumen de las expresiones matemáticas que rigen el comportamiento de las cuatro condiciones de frontera.

Tabla 3. Resumen de las ecuaciones para las cuatro condiciones de frontera en aletas de sección transversal uniforme

Caso	**Condición de aleta** $(\boldsymbol{x = L})$	**Distribución de temperaturas** $\boldsymbol{\theta/\theta_b}$	**Transferencia de calor de la aleta** $\boldsymbol{q_f}$
1	Transferencia de calor por convección: $h\theta(L) = -kd\theta/dx\|_{x=L}$	$\frac{\cosh m(L-x) + (h/mk)senh\, m(L-k)}{\cosh mL + (h/mk)senh\, mL}$ *Ecuación (15)*	$M \cdot \frac{senh\, mL + (h/mk)\, cosh\, mL}{\cosh mL + (h/mk)\, senh\, mL}$ *Ecuación (16)*
2	Adiabática: $d\theta/dx\|_{x=L} = 0$	$\frac{\cosh m(L-x)}{\cosh mL}$ *Ecuación (17)*	$M \cdot \tanh mL$ *Ecuación (18)*
3	Temperatura establecida: $\theta(L) = \theta_b$	$\frac{[(T_L - T\alpha)/(T_b - T\alpha)]senh\, mx + senh\, m(L-x)}{\operatorname{senh} mL}$ *Ecuación (19)*	$M \cdot \frac{(\cosh mL - [(T_L - T\alpha)/(T_b - T\alpha)])}{senh\, mL}$ *Ecuación (20)*
4	Aleta infinita (L→∞) $\theta(L) = 0$ $mL > 2.5$	e^{-mx} *Ecuación (21)*	M *Ecuación (21)*
$\theta = T - T\infty$ $\theta_B = \theta(0) = T_b - T\infty$		$m^2 = hP/kA_c$ $M = \sqrt{hPkA_c\theta_b}$	

Fuente: (Incropera & DeWITT, 1999)

La solución a la ecuación general de aletas para el caso de la convección de la punta de la aleta es muy compleja, por lo cual se recurre a un método aproximado pero práctico que es el de remplazar L por L_C (Longitud corregida) y analizarla como una aleta con extremo adiabático.

4.3.5. Aletas de sección transversal variable

En la industria las superficies extendidas con área de sección transversal variable tienen algunas aplicaciones prácticas, por lo cual para plantear un modelo Matemático a este tipo de superficies extendidas se han tomado en consideración las mismas suposiciones expuestas para las aletas de sección transversal uniforme:

De acuerdo a estas suposiciones vale recalcar que para obtener las ecuaciones diferenciales para este tipo de superficies se requiere de un alto grado de conocimiento en matemáticas avanzadas, ya que el análisis abarca las ecuaciones de Bessel de orden cero, y ecuaciones de Bessel de primer y segunda especie.

Al realizar el análisis correspondiente se obtiene una ecuación generalizada para las aletas longitudinales de sección transversal variable (KRAUS, AZIZ, & WELTY, 2001)

$$2Lf(x)\frac{d^2\theta}{dx^2} + \frac{2Ldf(x)}{dx}\frac{d\theta}{dx} - \frac{2h}{k}\theta = 0 \qquad \textit{Ecuación (23)}$$

Donde

- $h =$ Coeficiente de convección del medio ambiente
- $f(x) =$ Perfil variable de la aleta en función de "x"
- $L =$ Longitud de la aleta
- $k =$ Conductividad térmica del material

4.3.6. Eficiencia de las aletas

En la realidad la suposición número 5 no es verdadera ya que la temperatura de la aleta cae a lo largo de ella, por lo cual, para considerar el efecto de esta disminución sobre la transferencia de calor se define una eficiencia de la aleta como:

$$\eta_f = \frac{\dot{Q}_{aleta}}{\dot{Q}_{aleta,max}} \qquad \textit{Ecuación (24)}$$

Donde:

- $\dot{Q}_{aleta} =$ Es el flujo de calor real de la aleta
- $\dot{Q}_{aleta,max} =$ Es el flujo de calor ideal de la aleta (Temperatura base igual sobre toda la superficie)

Una consideración importante en el diseño de las superficies con aletas es la selección de la longitud L de la aleta que sea más apropiada. Las longitudes de aletas que causan la caída de eficiencia por debajo de 60% suelen no poder justificarse económicamente y deben evitarse. La eficiencia de la mayor parte de las aletas usadas en la práctica está por encima de 90% (Cengel & Ghajar, 2011).

4.3.7. Efectividad de las aletas

El desempeño de las aletas se juzga sobre la base del mejoramiento en la transferencia de calor comparado con el caso en el que no se usan aletas. Se expresa por la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_{aleta} = \frac{\dot{Q}_{aleta}}{\dot{Q}_{\text{sin } aleta}} = \frac{\dot{Q}_{aleta}}{hA_b(T_b - T\alpha)} \qquad \textit{Ecuación (25)}$$

Donde:

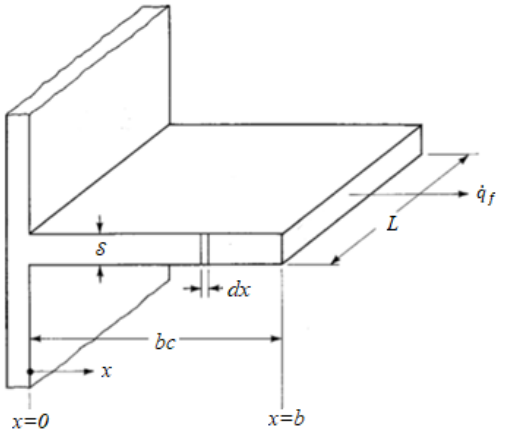
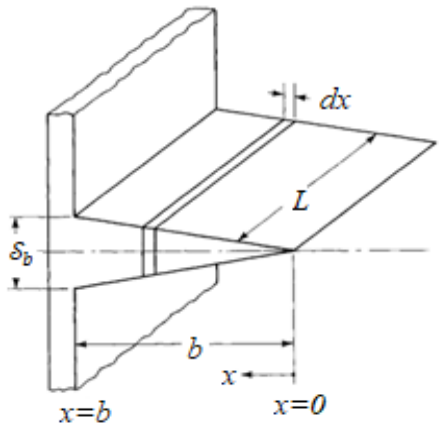
- $T_b \; y \; A_b =$ Son la temperatura y el área de la base respectivamente.
- Una $\varepsilon_{aleta} = 1$ indica que la adición de las aletas a la superficie no afecta la transferencia de calor en lo absoluto
- Una $\varepsilon_{aleta} < 1$ indica que, en realidad, la aleta actúa como aislamiento, retardando la transferencia de calor desde la superficie.
- Una $\varepsilon_{aleta} > 1$ indica que las aletas están mejorando la transferencia de calor desde la superficie.
- Una $\varepsilon_{aleta} > 2$ se justifica para un uso práctico

Tanto la eficiencia de la aleta como su efectividad están relacionadas con el desempeño de la misma, pero son cantidades diferentes. Sin embargo, están relacionadas entre sí por:

$$\varepsilon_{aleta} = \frac{\dot{Q}_{aleta}}{hA_b(T_b - T\alpha)} = \frac{\eta_{aleta} hA_{aleta}(T_b - T\alpha)}{hA_b(T_b - T\alpha)} = \frac{A_{aleta}}{A_b}\eta_{aleta} \qquad \textit{Ecuación (26)}$$

En la tabla 4 se muestra un resumen de las ecuaciones para cada uno de los perfiles tanto de sección transversal uniforme como sección transversal variable.

Tabla 4. Resumen de las ecuaciones que rigen el comportamiento de diferentes perfiles

<table>
<tr><th colspan="2">SUPERFICIES EXTENDIDAS LONGITUDINALES</th></tr>
<tr><th colspan="2">Aletas longitudinales de perfil rectangular</th></tr>
<tr><td>$m = \sqrt{2h/k\mathcal{S}}$ Ec.(27)
$b_c = b + \mathcal{S}/2$ Ec.(28)
$A_{aleta} = 2Lb_c$ Ec.(29)
$\frac{\theta}{\theta_b} = \frac{\cosh m(b_c - x)}{\cosh mb_c}$ Ec.(30)
$\dot{q}_f = k\mathcal{S}Lm\theta_b \tanh(mb_C)$ Ec.(31)
$\eta_f = \frac{tanh\,(mb_c)}{mb_c}$ Ec.(32)</td><td> 
</td></tr>
<tr><th colspan="2">Aletas longitudinales de perfil triangular</th></tr>
<tr><td>$m = \sqrt{2h/k\mathcal{S}_b}$ Ec.(33)
$A_{aleta} = 2L\sqrt{b^2 + (\mathcal{S}/2)^2}$ Ec.(34)
$\frac{\theta}{\theta_b} = \frac{I_0(2m\sqrt{bx})}{I_0(2mb)}$ Ec.(35)
$\dot{q}_f = \frac{2hL\theta_b I_1(2mb)}{mI_0(2mb)}$ Ec.(36)
$\eta_f = \frac{I_1(2mb)}{(mb)I_0(2mb)}$ Ec.(37)
$f(x) = (\mathcal{S}/2)(1 - \mathcal{S}/b)$ Ec.(38)</td><td> 
</td></tr>
</table>

Continuación de la tabla 4

Aletas longitudinales parabólicas cóncavas

$$m = \sqrt{2h/k\mathcal{S}_b} \quad \text{Ec.(39)}$$

$$A_f = W\left[C_1 b^2 + \left(\frac{b^2}{\mathcal{S}_b}\right) In\left(\frac{\mathcal{S}_b}{b} + C_1\right)\right] \quad \text{Ec.(40)}$$

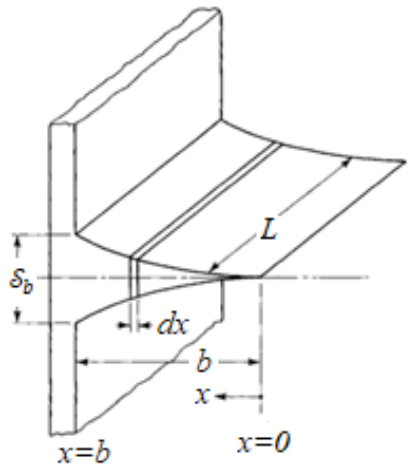
$$C_1 = \sqrt{\left[1 + \left(\frac{\mathcal{S}_b}{b}\right)\right]} \quad \text{Ec.(41)}$$

$$\frac{\theta}{\theta_b} = \left(\frac{x}{b}\right)^{-\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\sqrt{1+4m^2b^2}} \quad \text{Ec.(42)}$$

$$\dot{q}_f = \frac{k\mathcal{S}_b L\theta_b}{2b}\left[-1 + \sqrt{1+4m^2b^2}\right] \quad \text{Ec.(43)}$$

$$\eta_f = \frac{2}{1+\sqrt{1+4m^2b^2}} \quad \text{Ec.(44)}$$

$$f(x) = (\mathcal{S}_b/2)(1 - x/b)^2 \quad \text{Ec.(45)}$$



SUPERFICIES EXTENDIDAS RADIALES

Aletas radiales con perfil rectangular

$$m = \sqrt{2h/k\mathcal{S}} \quad \text{Ec.(46)}$$

$$r_c = r_a + \mathcal{S}/2 \quad \text{Ec.(47)}$$

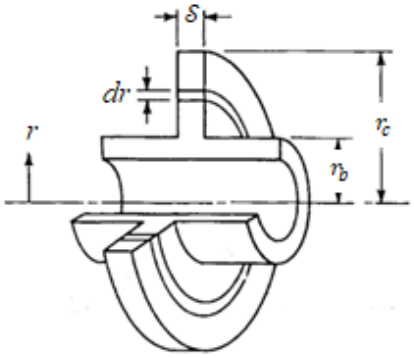
$$A_{aleta} = 2\pi(r_c^2 - r_b^2) \quad \text{Ec.(48)}$$

$$\frac{\theta}{\theta_b} = \frac{K_1(mr_c)I_0(mr) + I_1(mr_c)K_0(mr)}{I_0(mr_b)K_1(mr_c) + k_0(mr_b)I_1(mr_c)} \quad \text{Ec.(49)}$$

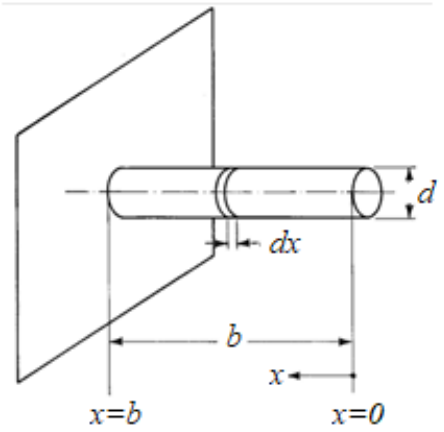
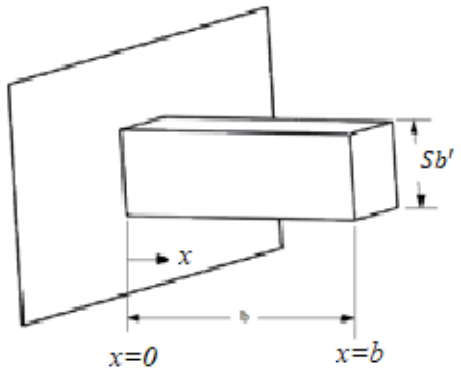
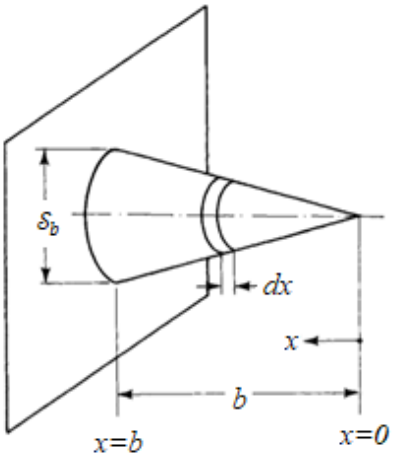
$$\dot{q}_f = 2\pi k r_b \mathcal{S} m\theta_b \frac{I_1(mr_c)K_1(mr_b) - K_1(mr_c)I_1(mr_b)}{I_0(mr_b)K_1(mr_c) + k_0(mr_b)I_1(mr_c)} \quad \text{Ec.(50)}$$

$$\eta_f = C_2 \frac{K_1(mr_b)I_1(mr_c) - I_1(mr_b)K_1(mr_c)}{I_0(mr_b)K_1(mr_c) + k_0(mr_b)I_1(mr_c)} \quad \text{Ec.(51)}$$

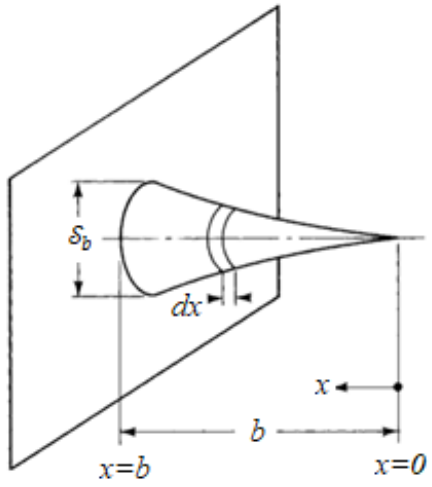
$$C_2 = \frac{2r_b}{m(r_c^2 - r_b^2)} \quad \text{Ec.(52)}$$



Continuación de la tabla 4

SUPERFICIES EXTENDIDAS DE AGUJA	
Aletas de aguja cilíndrica	
$m = \sqrt{4h/kd}$ Ec.(53) $b_c = b + d/4$ Ec.(54) $A_{aleta} = \pi d b_c$ Ec.(55) $\frac{\theta}{\theta_b} = \frac{\cosh(mx)}{\cosh(mb_c)}$ Ec.(56) $\dot{q}_f = \frac{\pi}{4} k d^2 m \theta_b \tanh(mb_c)$ Ec.(57) $\eta_f = \frac{\tanh(mb_c)}{(mb_c)}$ Ec.(58)	
Aletas de aguja cuadrada	
$Sb' = \sqrt{Sb^2/2}$ Ec.(59) $b_c = b + (Sb'/2)$ Ec.(60) $A_{aleta} = 2Sb' b_c$ Ec.(61) $\frac{\theta}{\theta_b} = \frac{\cosh(mx)}{\cosh(mb_c)}$ Ec.(62) $\dot{q}_f = kSb'^2 m \theta_b \tanh(mb_c)$ Ec.(63) $\eta_f = \frac{\tanh(mb_c)}{(mb_c)}$ Ec.(64)	
Aletas de aguja cónica	
$m = \sqrt{4h/k\mathcal{S}_b}$ Ec.(65) $A_{aleta} = \frac{\pi \mathcal{S}_b}{2}\sqrt{b^2 + (\mathcal{S}_b/2)^2}$ Ec.(66) $\frac{\theta}{\theta_b} = \sqrt{\frac{b}{x}}\frac{I_1(2M\sqrt{x})}{I_1(2M\sqrt{b})}$ Ec.(67) $\dot{q}_f = \frac{\pi k \mathcal{S}_b^2 \theta_b M}{4\sqrt{b}}\frac{I_2(2M\sqrt{b})}{I_1(2M\sqrt{b})}$ Ec.(68) $M = \sqrt{2h/k\mathcal{S}_b}\sqrt{2b}$ Ec.(69) $\eta_f = \frac{\sqrt{2} I_2(2\sqrt{2}mb)}{(mb) I_1(2\sqrt{2}mb)}$ Ec.(70) $f(x) = (\mathcal{S}_b/2)(1 - x/b)$ Ec.(71)	

Continuación de la tabla 4

Aletas de aguja parabólica cóncava	
$m = \sqrt{4h/k\mathcal{S}_b}$ Ec.(72)	
$A_{aleta} = \frac{\pi b^3}{8\mathcal{S}_b}\left\{C_3C_4 - \frac{b}{2\mathcal{S}_b} ln\left[\left(\frac{2\mathcal{S}_bC_4}{L}\right) + C_3\right]\right\}$ Ec.(73)	
$C_3 = 1 + 2(\mathcal{S}_b/b)^2$ Ec.(74)	
$C_4 = \sqrt{1 + (\mathcal{S}_b/b)^2}$ Ec.(75)	
$\frac{\theta}{\theta_b} = \left(\frac{x}{b}\right)^{-\frac{3}{2}+\frac{1}{2}(9+4M^2)^{1/2}}$ Ec.(76)	
$\dot{q}_f = \frac{\pi k\mathcal{S}_b^2\theta_b\left[-3+\sqrt{9+4M^2}\right]}{8b}$ Ec.(77)	
$M = \sqrt{2}\sqrt{2h/k\mathcal{S}_b}\, b$ Ec.(78)	
$\eta_f = \frac{2}{1+\sqrt{1+\frac{8}{9}m^2b^2}}$ Ec.(79)	
$f(x) = (\mathcal{S}_b/2)(1 - x/b)^2$ Ec.(80)	

Fuente: (KRAUS, AZIZ, & WELTY, 2001)

4.3.8. Dispositivos de varias aletas (Eficiencia global)

En la vida real no se encuentran superficies con una sola aleta, por lo cual se considera pertinente el estudio de superficies con un número "N" de aletas. En la Figura 7 se muestran arreglos representativos, donde S designa el espaciamiento de las aletas.

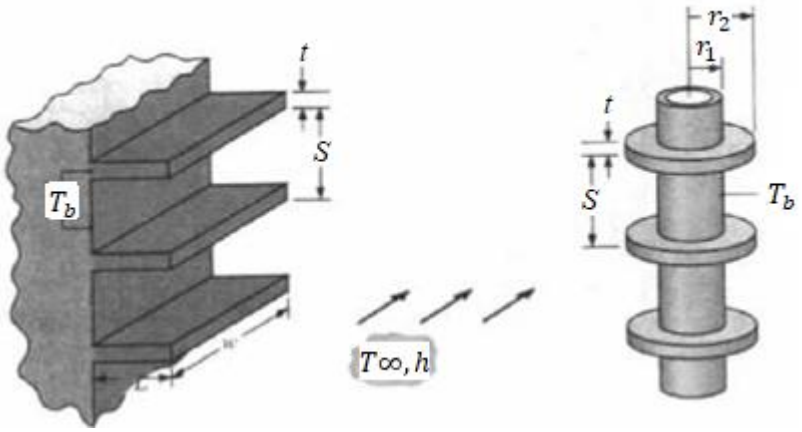


Figura 7. Arreglos representativos de aletas
Fuente: (Incropera & DeWITT, 1999)

La expresión para determinar la eficiencia global de un arreglo de aletas viene definida por la siguiente ecuación:

$$\eta_0 = 1 - \frac{NA_f}{A_t}\left(1 - \eta_f\right) \qquad \text{Ecuación (81)}$$

Donde:

- $N =$ Número de aletas
- $A_f =$ Área superficial de una sola aleta
- $A_t = NA_f + A_b$, y A_b es el área de la parte expuesta de la base.
- $\eta_f =$ Eficiencia de una sola aleta

4.3.9. Resistencia térmica de un arreglo

La expresión para la resistencia térmica de un arreglo de aletas es:

$$R_{t,0} = \frac{1}{\eta_0 h A_t} \qquad \text{Ecuación (82)}$$

Donde $R_{t,0}$ es una resistencia efectiva que explica las trayectorias de flujo de calor paralelas por conducción/convección en las aletas y por convección de la superficie principal.

4.4. Algoritmos y diseño paramétrico

4.4.1. Algoritmo matemático

Según el Diccionario Oxford de Computación, un algoritmo es una sucesión preestablecida de reglas precisas para la solución de un problema en un número finito de pasos (Figura 5).

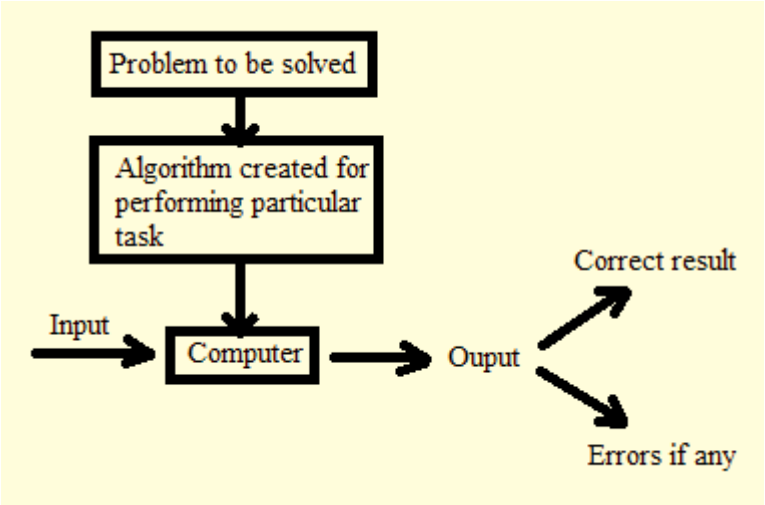


Figura 8. Noción de algoritmo
Fuente: (Puntambekar, 2009)

Por lo general, los algoritmos tienen las siguientes características:

- Entrada. El algoritmo recibe datos de entrada
- Salida. El algoritmo produce una salida
- Precisión. Los pasos se establecen con precisión
- Determinismo. Los resultados intermedios de cada paso de ejecución son únicos y están determinados sólo por las entradas y los resultados de los pasos anteriores.
- Carácter finito. El algoritmo termina; es decir, se detiene después de ejecutar un número finito de instrucciones
- Corrección. La salida producida por el algoritmo es correcta, es decir, el algoritmo resuelve el problema sin errores.
- Generalidad. El algoritmo se aplica a un conjunto de entradas.

Los pasos de un algoritmo se establecen con suficiente precisión de manera que éste pueda escribirse en un lenguaje de programación y ser ejecutado por una computadora.

Según la definición dada, un algoritmo siempre resuelve un problema. Por tanto, la comprensión del concepto de algoritmo conduce de modo natural al concepto de problema. En términos rigurosos, un problema P está definido cuando para un objeto o proceso determinado se dan un conjunto de datos de entrada E, y un conjunto de datos de salida S. (Ambuludi, 2016) Simbólicamente,

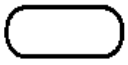
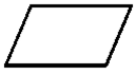
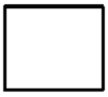
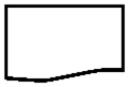
$$P = [E, S]$$

4.4.2. Lenguajes algorítmicos

Son un conjunto de símbolos y reglas que describen de manera explícita un proceso. Existen dos tipos de lenguajes algorítmicos: gráficos (flujograma) o mediante seudocódigo

- **Diagrama de flujo:** se lleva a cabo cuando varios símbolos (que indican diferentes procesos en la computadora) se relacionan entre sí mediante líneas que indican el orden en que se deben ejecutar las instrucciones para obtener los resultados deseados. Los símbolos utilizados han sido reglamentados por ANSI[7] y los apreciamos en la siguiente tabla:

Tabla 5. Símbolos gráficos más utilizados para dibujar diagramas de flujo de algoritmos

Símbolo	Descripción
	Inicio y final del diagrama de flujo
	Entrada (leer) y salida de datos (imprimir).
	Símbolo de decisión. Indica la realización de una comparación de valores
	Símbolo de proceso. Indica la asignación de un valor en la memoria y/o la ejecución de una operación aritmética.
	Líneas de flujo o dirección. Indican la secuencia en que se realizan las operaciones.
	Repetitiva desde número de iteraciones o repeticiones
	Impresión

[7] ANSI es el Instituto Nacional de Normalización Estadounidense (American National Standards Institute)

Continuación de la tabla 5

	Conectores

Fuente: (Corona & Ancona, 2011)

- **El pseudocódigo (Figura 9)**: es la combinación del lenguaje natural (español, inglés o cualquier otro idioma), símbolos y términos utilizados dentro de la programación. Se puede definir como un lenguaje de especificaciones de algoritmos.

```
INICIO
        Edad: Entero
        Escribe: "¿Cuál es tu edad?
        Lee Edad
        SI Edad ≥ 18 entonces
                ESCRIBE: "Mayor de Edad"
        De lo contrario
                ESCRIBE: "Menor de Edad"
        FIN SI
FIN
```

Figura 9. Pseudocódigo para determinar si eres mayor de edad o no
Fuente: El autor

4.4.3. Diseño paramétrico

Según el Diccionario de la Lengua Española, la palabra parámetro se compone de para (del latín parus, que viene de pario, parir, que significa «que pare», «que se reproduce») y metro (del griego μετρον, que significa medida); de ahí que su única acepción (que proviene de la matemática) es la de "variable que, en una familia de elementos, sirve para identificar cada uno de ellos mediante su valor numérico".

La base del diseño paramétrico es la generación de geometría a partir de la definición de una familia de parámetros iniciales y la programación de las relaciones formales que guardan entre ellos. Consiste en la utilización de variables y algoritmos para generar un árbol de relaciones matemáticas y geométricas que permitan no sólo llegar a un diseño, sino generar todo el rango de posibles soluciones que la variabilidad de los parámetros iniciales permita.

4.4.3.1. Softwares CAD

En la actualidad el diseño asistido por ordenador, más conocido por siglas CAD se considera como "El proceso de automatización del diseño que emplea técnicas de gráficos informáticos junto con programas de cálculo, estudios de coste y documentación del producto"

La ventaja de utilizar el diseño asistido por ordenador es el reducido espacio de tiempo que se utiliza para elaborar un proyecto, el mismo que resultaría algo tedioso al realizarlo en forma manual. Al utilizar este tipo de diseño no se pretende eliminar completamente el uso del papel, sino que se emplee como soporte final, una vez que el diseño se haya ultimado.

Hoy en día la aplicación de CAD, es una herramienta que ha permitido la evolución de la Industria, como en el caso de diseño de maquinaria donde se utiliza un cierto tipo de software que asiste al diseñador en el interés de realizar: modelos virtuales flexibles en 3D, selección de elementos normalizados, verificaciones de ingeniería, planos de ensamblaje o de taller y determinación de tecnologías y códigos de enlace para la manufactura por control numérico. Por la forma en que funcionan y por el modo en que facilitan la actividad de diseño se suelen denominar Software para el modelado / diseño paramétrico (SDP). Entre ellos, los más conocidos son: Pro/Engineer, Inventor, Mechanical Desktop, NX, Solid Works, CATIA, Solid Edge y otros (Ambuludi, 2016).

4.5. Adquisición de datos de temperatura

4.5.1. Tipos de señales

4.5.1.1. Señales analógicas

Son variables eléctricas que evolucionan en el tiempo en forma análoga a alguna variable física. Estas variables pueden presentarse en la forma de una corriente, una tensión o una carga eléctrica. Varían en forma continua entre un límite inferior y un límite superior. Cuando estos límites coinciden con los límites que admite un determinado dispositivo, se dice que la señal está normalizada. La ventaja de trabajar con señales normalizadas es que se aprovecha mejor la relación señal/ruido del dispositivo.

4.5.1.2. Señales digitales

Son variables eléctricas con dos niveles bien diferenciados que se alternan en el tiempo transmitiendo información según un código previamente acordado. Cada nivel eléctrico representa uno de dos símbolos: 0 ó 1, V o F, etc. Los niveles específicos dependen del tipo de dispositivos utilizado. Por ejemplo, si se emplean componentes de la familia lógica TTL (transistor-transistor-logic) los niveles son 0 V y 5 V, aunque cualquier valor por debajo de 0,8 V es correctamente interpretado como un 0 y cualquier valor por encima de 2 V es interpretado como un 1 (los niveles de salida están por debajo de 0,4 V y por encima de 2,4 V respectivamente). En el caso de la familia CMOS (complementary metal-oxide-semiconductor), los valores dependen de la alimentación. Para alimentación de +5 V, los valores ideales son también 0 V y 5 V, pero se reconoce un 0 hasta 2,25 V y un 1 a partir de 2,75 V (Miyara, 2004).

4.5.2. Adquisición de datos

Según (Zambrano, 2016) la adquisición de datos (DAQ) es el proceso de medir con una PC un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Un sistema DAQ consiste de sensores, hardware de medidas DAQ y una PC con software programable. Comparados con los sistemas de medidas tradicionales, los sistemas DAQ basados en PC aprovechan la potencia del procesamiento, la productividad, la visualización y las habilidades de

conectividad de las PCs estándares en la industria proporcionando una solución de medidas más potente, flexible y rentable.

4.5.2.1. Partes de un sistema DAQ

Un sistema DAQ consta de tres partes principales: sensor, dispositivo DAQ y PC (Figura 10)

Figura 10. Partes de un sistema DAQ
Fuente: (Zambrano, 2016)

- **Sensor:** La medida de un fenómeno físico, como la temperatura de una habitación, la intensidad de una fuente de luz o la fuerza aplicada a un objeto, comienza con un sensor. Un sensor, también llamado un transductor, convierte un fenómeno físico en una señal eléctrica que se puede medir. Dependiendo del tipo de sensor, su salida eléctrica puede ser un voltaje, corriente, resistencia u otro atributo eléctrico que varía con el tiempo. Algunos sensores pueden requerir componentes adicionales y circuitos para producir correctamente una señal que puede ser leída con precisión y con toda seguridad por un dispositivo DAQ.
- **Dispositivo DAQ:** El hardware DAQ actúa como la interfaz entre una PC y señales del mundo exterior. Funciona principalmente como un dispositivo que digitaliza señales analógicas o digitales entrantes para que una PC pueda interpretarlas. Los tres componentes clave de un dispositivo DAQ usado para medir una señal son el circuito de acondicionamiento de señales, convertidor analógico-digital (ADC) y un bus de PC. Varios dispositivos DAQ incluyen otras funciones para automatizar sistemas de medidas y procesos.
- **PC:** Una PC con software programable controla la operación del dispositivo DAQ y es usada para procesar, visualizar y almacenar datos de medida.

4.5.2.2. Componentes clave de medidas para un dispositivo DAQ

- **Acondicionamiento de señales**

  Las señales de los sensores o del mundo exterior pueden ser ruidosas o demasiado peligrosas para medirse directamente. El circuito de acondicionamiento de señales manipula una señal de tal forma que es apropiado para entrada a un ADC. Este circuito puede incluir amplificación, atenuación, filtrado y aislamiento. Algunos dispositivos DAQ incluyen acondicionamiento de señales integrado diseñado para medir tipos específicos de sensores.

- **Convertidor analógico-digital (ADC)**

  Las señales analógicas de los sensores deben ser convertidas en digitales antes de ser manipuladas por el equipo digital como una PC. Un ADC es un chip que proporciona una representación digital de una señal analógica en un instante de tiempo. En la práctica, las señales analógicas varían continuamente con el tiempo y un ADC realiza "muestras" periódicas de la señal a una razón predefinida. Estas muestras son transferidas a una PC a través de un bus, donde la señal original es reconstruida desde las muestras en software (Zambrano, 2016).

4.5.3. Métodos de medición de temperatura

Varios métodos son usados para la medición de temperatura, a continuación, mencionaremos los más utilizados:

- **Dilatación y contracción de sólidos, líquidos o gases:** Con ello se han construido desde los clásicos termómetros de columna líquida, hasta los termómetros bimetálicos.
- **Variación de resistencia eléctrica:** La variación de la resistencia eléctrica con la temperatura se usa en termómetros en base a termistores y termómetros de resistencia eléctrica (resistencia de platino, PT100).
- **Potencial termoeléctrico:** Si la unión de dos metales diferentes se somete a un gradiente de temperatura, se genera una fuerza electromotriz (fem). Este es el llamado efecto Seebeck y es la base en que se sustentan las termocuplas.

- **Radiación electromagnética:** Tanto los pirómetros infrarrojos como los pirómetros ópticos se basan en los fenómenos de radiación para medir temperatura. Ambos tienen la ventaja de poder medir a distancia. Los primeros se utilizan para temperaturas muy bajas y los segundos para altas temperaturas. (Obregón, 2007)

4.5.4. Tipos de sensores de temperatura

- **Termocupla:** Está compuesta por dos alambres de metales diferentes, los que unidos convenientemente generan entre sus extremos libres una diferencia de potencial proporcional a la diferencia de temperatura entre ellos. En la Figura 11 se puede apreciar una termocupla del tipo J cuya juntura se suelda a 750ºC.

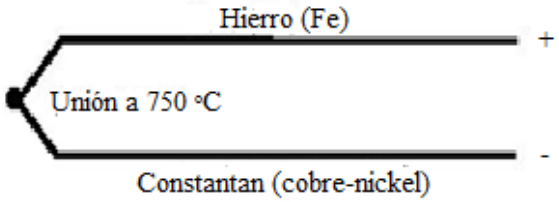


Figura 11. Termocupla Tipo J (Hierro, Cobre y Níquel)
Fuente: (Obregón, 2007)

De acuerdo al rango de operación y a la combinación de aleaciones que los componen los termopares se clasifican dentro de los siguientes tipos (ver Tabla 6)

Tabla 6. Composición de tipos de termocuplas

Tipo	Materiales
J	Hierro-Constantán
T	Cobre-Constantán
K	Cobre-Alumel
R	Platino/Rodio (13%)-Platino
S	Platino/Rodio (13%)-Platino
J*	Hierro-Constantán (Galga 8)

Fuente: (Obregón, 2007)

- **Termómetros de resistencia:** Los detectores de temperatura basados en la variación de una resistencia eléctrica se suelen designar con sus siglas inglesas RTD (Resistance Temperature Detector) (ver Figura 12). Dado que el material empleado con mayor

frecuencia para esta finalidad es el platino, se habla a veces de PRT (Platinum Resistance Thermometer).

Figura 12. Termómetros de resistencia (RTD)
Fuente: (Obregón, 2007)

Los materiales más comunes para la fabricación de RTD's son el platino, el níquel, el cobre y en algunas aplicaciones, a bajas temperaturas (alrededor de los 20 K), el rodio.

- **Termistores:** Los termistores son dispositivos semiconductores hechos de material cerámico cuya resistencia varía con la temperatura (ver Figura 13). Estos dispositivos presentan grandes coeficientes de temperatura negativos (NTC), es decir, que su resistencia disminuye cuando la temperatura aumenta. Los materiales con que se fabrican pueden ser mezclas sintetizadas de sulfatos, selenio, óxidos de níquel, manganeso, hierro, cobalto, cobre, magnesio, titanio, uranio, y otros metales. Existen también termistores con coeficiente térmico positivo (PTC) fabricados de bario sintetizado y mezclas de estroncio y titanio.

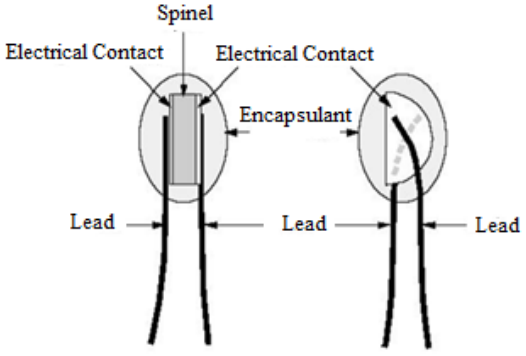


Figura 13. Componentes de un termistor
Fuente: (Obregón, 2007)

Por tratarse de un material semiconductor, los termistores tienen un rango limitado que va de -20°C a 150ºC

- **Termómetros de unión PN:** La familia de sensores de temperatura de silicio de Infineon y Phillips KTY son de alta exactitud, lineales y con una excelente estabilidad a lo largo del tiempo. Son una alternativa a los sensores más convencionales basados en la tecnología NTC o PTC. Las propiedades de estos sensores de temperatura están basadas en el comportamiento estable del silicio. Los sensores de temperatura de silicio muestran una característica casi lineal comparada con la característica exponencial de las NTC. Esto significa que tienen un coeficiente de temperatura qué es casi constante en todo el rango de temperatura. Esta característica se puede utilizar cuando el sensor se usa como compensación de temperatura para un microprocesador con conversor de A/D[8] integrado. (Obregón, 2007)
- **Infrarrojos:** Los sensores infrarrojos son compactos de alta calidad y bajo costo, miden la temperatura de objetos y materiales inaccesibles o en movimiento. Con precisión, consistencia y un sorprendente tiempo de respuesta.

  Realizan mediciones de alto rendimiento, miden temperaturas desde -20ºC a 2000ºC. Son compatibles con gran variedad de instrumentación sin realizar interface o acondicionamiento de señal. Existen diversas resoluciones ópticas, se pueden configurar desde una computadora mediante software el cual es incluido. Permite configurar el rango y la emisividad, aplicar filtros, lecturas mínimas, lecturas máximas, medias e instantáneas. Funciona en ambientes de hasta 50°C, aunque existe una versión con chasis para refrigerar con agua y de un collar para salida de aire para condiciones más adversas. (SRC, 2019)

Figura 14. Sensor infrarrojo de temperatura GY-906-BCC MLX90614ESF-BCC
Fuente: (HETPRO, 2019)

[8] Conversor A/D es un conversor de señal analógico/digital

4.6. Sistematización de información acerca del análisis de superficies extendidas

De acuerdo, a la revisión bibliográfica realizada se determinó que por lo general en la práctica las puntas de las aletas están expuestas a los alrededores, por lo tanto, la condición de frontera para la punta de la aleta que se va a utilizar para el análisis es la de convección, que también puede incluir los efectos de radiación (Sección 2.4). De manera análoga con el fin de delimitar el tema se ha decidido realizar el análisis sobre superficies planas, por lo cual, se ha seleccionado las aletas longitudinales (Figura 4) y las aletas tipo espina o aguja (Figura 6), las mismas que son distribuidas uniformemente a lo largo de la superficie.

Cada tipo de superficie extendida tiene sus partes bien definidas mediante variables, así como también las ecuaciones que rigen el comportamiento de las mismas como se puede observar en la Tabla 4. Sin embargo, la distribución de las aletas en las estructuras tipo longitudinales es en una sola dirección, a diferencia de las de tipo de aguja que es en dos direcciones diferentes, por cual la comparación de la temperatura base se debe realizar para los mismos tipos de aleta, pero de estructuras diferentes, es decir, en el caso de las aletas longitudinales se deben comparar los tres subtipos (perfil rectangular, perfil triangular y perfil parabólico cóncavo) y para el caso de las aletas de aguja los cuatro subtipos (cilíndrico, cuadrado, cónico y parabólico cóncavo).

Una de las metodologías de cálculo que se utilizan por su facilidad para resolver los problemas de transferencia de calor en superficies extendidas es la de introducir los conceptos de resistencia térmica, de manera análoga sobre los problemas de circuitos eléctricos, como se explica en las secciones 1.5, 1.6 y 2.9, por lo cual se toma esta metodología como referencia para la realización de los cálculos.

En general, los arreglos de este tipo de superficies son ubicados en dispositivos que poseen una sola capa de un material determinado, por lo cual se define la siguiente configuración para la realización de los cálculos:

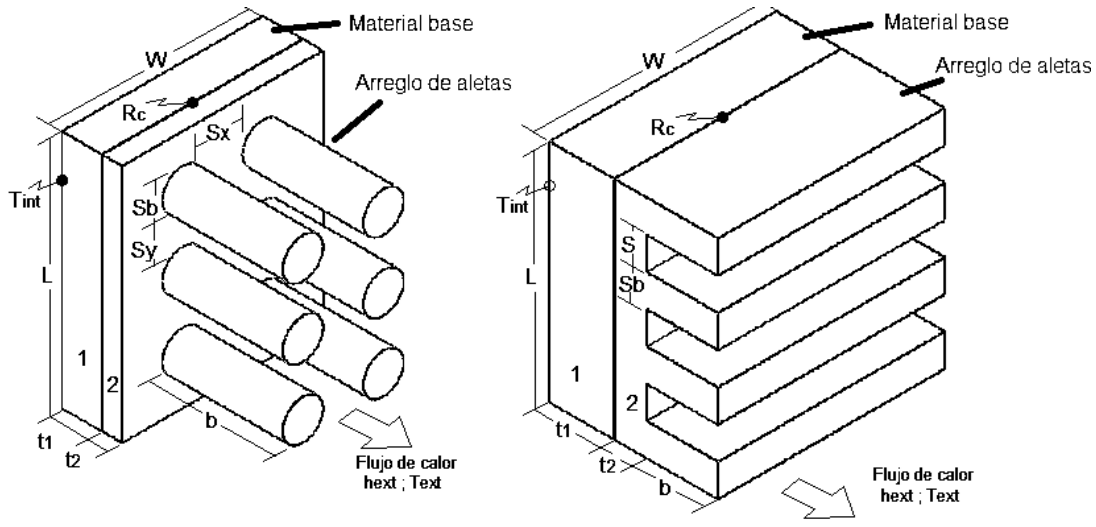


Figura 15. Configuración del arreglo de aletas longitudinales y arreglo de aletas de aguja
Fuente: El autor

Donde los parámetros de entrada son:

-Para las aletas longitudinales: largo "L", ancho "W",espesor "$t1$" y "$t2$", Conductividad térmica "$k1$" y "$k2$", espaciamiento entre aletas "S", longitud "b", espesor de la base "Sb", coeficiente de convección externo ""h_{ext}", temperatura externa "T_{ext}", temperatura interna "T_{int}" y conductancia por contacto "h_c".

-Para las aletas de aguja: Difieren solamente en el espaciamiento entre aletas "S", el cual es reemplazado por espaciamiento entre aletas "Sx" y espaciamiento entre aletas "Sy".

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Materiales

Los principales materiales que se emplearon en la ejecución del presente proyecto son los siguientes:

- Computadora.
- Fuentes bibliográficas e internet para obtener información acerca del tema de investigación.
- Materiales de oficina.
- Software para la programación del algoritmo de cálculo:
    - Microsoft Excel 2019®.
- Software para simulación térmica y diseño 3D
- Software de apoyo para el desarrollo del sistema DAQ:
    - NI LabVIEW 2018®.
    - IDE Arduino®.
- Tarjeta DAQ:
    - Arduino MEGA 2560.
- Sensores de temperatura:
    - Termocupla tipo K.
- Fuente resistiva de calor.
- Hierro forjado para la elaboración de las Superficies extendidas de perfiles básicos.
- Plancha de madera aglomerada y plancha de Acero Inoxidable
- Elementos electrónicos (protoboard, resistencias, potenciómetro, jumpers, leds, etc.)

5.2. Métodos

El principal objetivo de este proyecto es desarrollar un algoritmo para el diseño, modelación 3D y simulación térmica que permita comparar la temperatura base en diferentes estructuras de superficies extendidas. Para lo cual, haciendo uso de la experiencia del docente (director de tesis) y alumno, así como de la bibliografía existente en este tema, se estructura la siguiente metodología:

Figura 16. Esquema de la metodología planteada para el desarrollo del proyecto
Fuente: El autor

5.2.1. Implementación de la metodología de cálculo por resistencias térmicas para determinar el comportamiento de las superficies extendidas.

A manera de ejemplo, se presenta la metodología de cálculo para un tipo de superficie extendida:

Metodología (Aletas longitudinales de perfil rectangular)

Tabla 7. Variables de entrada para el análisis de aletas Longitudinales

Datos:
Área de la superficie
Largo "L" en (m)
Ancho "w" en (m)
Espesor "t1" en (m)
Cond_térmica "k1" en (W/m°C)

Continuación de la tabla7

Arreglo de aletas
Ancho "w2" en (m)
Espaciamiento entre aletas "S" en (m)
Longitud "b" en (m)
Espesor "t2" en (m)
Cond_térmica "k2" en (W/m°C)
Espesor base "Sb" en (m)
Datos adicionales
hext (W/m^2°C)
Tint (°C)
T∞(°C)
hc 1-2 (W/m^2°C)

Fuente: El autor

Número de aletas

- Espaciamiento total

$$S_T = L - (N * Sb)$$ *Relac. Ej.1*

- Espaciamiento individual

$$S = \frac{S_T}{(N-1)}$$ *Relac. Ej.2*

- Número de aletas

$$S * (N-1) = L - (N-1)$$

$$(S * N) - S = L - (N * Sb)$$

$$N = \frac{L+S}{S+Sb}$$ *Relac. Ej.3*

Cálculo de la resistencia del arreglo

- Longitud característica de la aleta:

$$Lc = b + \frac{Sb}{2}$$ *Relac. Ej.4*

- Área de una sola aleta:

$$A_f = 2 * w * Lc$$ *Relac. Ej.5*

- Factor geométrico del perfil:

$$m = \sqrt{\frac{2 * hext}{k2 * \mathcal{S}b}}$$ *Relac. Ej.6*

- Área total según el número de aletas:

$$A_{ft} = N * A_f$$ *Relac. Ej.7*

- Áreas de la superficie 1 y superficie 2:

$$A_1 = A_2 = A_c$$ *Relac. Ej.8*

- Área libre de aletas:

$$A_{Libre} = A_1 - (N * \mathcal{S}b * w)$$ *Relac. Ej.9*

- Área total asociada con las aletas y la parte expuesta:

$$A_T = \left(N * A_f\right) + A_{Libre}$$ *Relac. Ej.10*

- Eficiencia de una sola aleta:

$$\eta_f = \frac{\tanh\left(m * Lc\right)}{m * Lc}$$ *Relac. Ej.11*

- Eficiencia global del arreglo:

$$\eta_0 = 1 - \frac{\left(N * A_f\right)}{A_T}\left(1 - \eta_f\right)$$ *Relac. Ej.12*

- Resistencia total del arreglo:

$$R_{T,0} = \frac{1}{\eta_0 * hext * A_T}$$ *Relac. Ej.13*

Cálculo de la resistencia del material 1:

$$R_1 = \frac{t1}{A_1 * k1}$$ *Relac. Ej.14*

Cálculo de la resistencia del material 2:

$$R_2 = \frac{t2}{A_2 * k2}$$ *Relac. Ej.15*

Resistencia de Contacto entre superficies 1 y 2:

$$R_C = \frac{1}{A_C * hc}$$ *Relac. Ej.16*

Resistencia total:

$$R_T = R_{T,0} + R_1 + R_2 + R_C$$ *Relac. Ej.17*

Flujo de calor total CONSIDERANDO el arreglo de aletas:

$$\dot{q}_T = \frac{Tint - T\infty}{R_T}$$ *Relac. Ej.18*

Temperatura en la base y en la punta de la aleta:

$$T_b = \left(\dot{q}_T * R_{T,0}\right) + T\infty$$ *Relac. Ej.19*

$$T_{punta} = \frac{(\cosh m * (Lc - x)) * (T_b - T\infty)}{\cosh(m * Lc)} + T\infty$$ *Relac. Ej.20*

Flujo de calor total SIN CONSIDERAR el arreglo de aletas:

- Cálculo de la resistencia debida al coeficiente de convección externa:

  $$A_1 = A_a$$

  $$R_a = \frac{1}{hext * A_a}$$ *Relac. Ej.21*

- Flujo de calor:

  $$\dot{q}_{\text{sin }_aletas} = \frac{Tint - T\infty}{R_a + R_1}$$ *Relac. Ej.22*

Efectividad:

$$\varepsilon = \frac{\dot{q}_T}{\dot{q}_{\text{sin }_aletas}}$$ *Relac. Ej.23*

5.2.2. Planteamiento y programación del algoritmo en un software de cálculo

Para el diseño del algoritmo se utiliza la metodología planteada por (Corona & Ancona, 2011) cómo se observa a continuación:

- **Definición del problema:** Plantear unos pasos preestablecidos para el diseño, modelación 3D y simulación térmica que permita comparar la temperatura base en diferentes estructuras de superficies extendidas.

- **Análisis del problema:** Tanto las fórmulas como los datos de entrada para cada una de las superficies extendidas se identificaron en la tabla 4 y en la sección 5.2.2. respectivamente, con las cuales luego de programarlas en un software se obtienen las variables de salida que son: temperatura en la base, temperatura en la punta, eficiencia, efectividad y flujo de calor.

  Para la codificación del algoritmo se tiene en consideración los siguientes puntos:

  - El producto de mb debe ser menor a 2,5; ya que de lo contrario la condición de frontera para la punta de las aletas seria para una aleta infinitamente larga.
  - Debido a que el análisis térmico se realiza en arreglos de aletas se establece que: **aletas longitudinales,** la longitud L debe ser igual a dos veces el espesor de la base "Sb" mas una vez el espaciamiento "S", dado que con ello se obtiene que el mínimo de aletas para el arreglo sea de dos; **aletas de espina,** la longitud "W" debe ser igual a dos veces "Sb" mas tres veces el espaciamiento en la dirección "Sx", **,** la longitud "L" debe ser igual a dos veces "Sb" mas tres veces el espaciamiento en la dirección "Sy", dado que con ello se obtiene una matriz mínima de aletas de 2x2.
  - La longitud máxima de las aletas es de 15cm.
  - La aproximación que se utiliza (Longitud corregida) para las aletas de sección transversal constante es válida siempre y cuando se cumpla la siguiente expresión

$\frac{h * Sb}{k} < 0{,}0625$	Para las aletas longitudinales y de aguja tipo rectangulares.
$\frac{h * Sb}{2 * k} < 0{,}0625$	Para las aletas de aguja cilíndricas y cuadradas.

- **Diseño del algoritmo:** El algoritmo es desarrollado tipo flujograma para lo cual se establece una lista de interrogantes, las mismas que ayudan a la estructuración del algoritmo:
  - ¿Cuál es la Temperatura base máxima requerida?
  - ¿Con que tipo de aleta desea realizar los cálculos? (Longitudinales o de Aguja)

- ¿La temperatura base obtenida es menor e igual la temperatura base máxima requerida?
- ¿Desea cambiar el tipo de aleta seleccionado?
- ¿Desea modificar algún parámetro de cálculo con el fin de obtener un mejor desempeño?

Además de incluir estas interrogantes, el flujograma debe contener operaciones tales como:

- Ingresar datos de Diseño y Calcular
- Seleccionar el arreglo de aletas con mejor desempeño térmico
- Modelación 3D del arreglo de aletas seleccionado
- Ingresar datos para el estudio Térmico
- Etc.

Con la ayuda de la simbología correspondiente detallada en la sección 4.3.2. se procede a la estructuración del algoritmo.

Una vez obtenido el algoritmo, se lo programa en un libro de cálculo de Microsoft Excel®, para su posterior enlace con SolidWorks®.

Microsoft Excel® es un software de cálculo que posee diversas herramientas con la cuales se logra una mejor interacción entre usuario-computador, entre estas tenemos la programación Macro, el cual utiliza el lenguaje VBA[9] para programar un conjunto de instrucciones que se ejecutan de manera secuencial por medio de una orden de ejecución. Por lo cual con la ayuda de esta herramienta se desarrolla una interfaz, en la misma que se identifica cada uno de los parámetros de entrada para la realización de los cálculos.

El programa desarrollado en Microsoft Excel® debe contemplar tanto las restricciones utilizadas para la estructuración del algoritmo (análisis del problema) como también seguir la sucesión preestablecida de pasos detallados en el mismo.

[9] VBA (Visual Basic para aplicaciones) es un lenguaje de programación desarrollado por Alan Cooper para Microsoft, el mismo que permite crear ventas, botones, etc., de forma sencilla.

Dado que la comparación de la temperatura base se realiza en dos tipos de estructuras las Longitudinales y las de Aguja, se decide crear tres hojas de cálculo (CÁLCULOS, RESULTADOS Y RESUMEN DE RESULTADOS) para cada tipo de estructura, las mismas que son configuradas de acuerdo al algoritmo desarrollado. Además de ello se implementa una tabla de ponderación, donde se le asigna a cada parámetro de salida un peso de acuerdo al grado de importancia que tenga, con el fin de que el usuario tenga la posibilidad de elegir el tipo de superficie extendida más conveniente.

5.2.3. Vinculación del algoritmo programado con un software 3D de diseño paramétrico y de simulación Térmica.

Para ello se requiere primeramente esquematizar el material base y cada una de las estructuras en un software de modelación 3D en este caso SolidWorks 2017®, para posterior a ello realizar el ensamblaje correspondiente.

A continuación (Figura 17), se muestra el diseño 3D para un arreglo de aletas de perfil rectangular, en el cual se pueden observar algunas de sus variables de diseño generadas automáticamente por el software 3D.

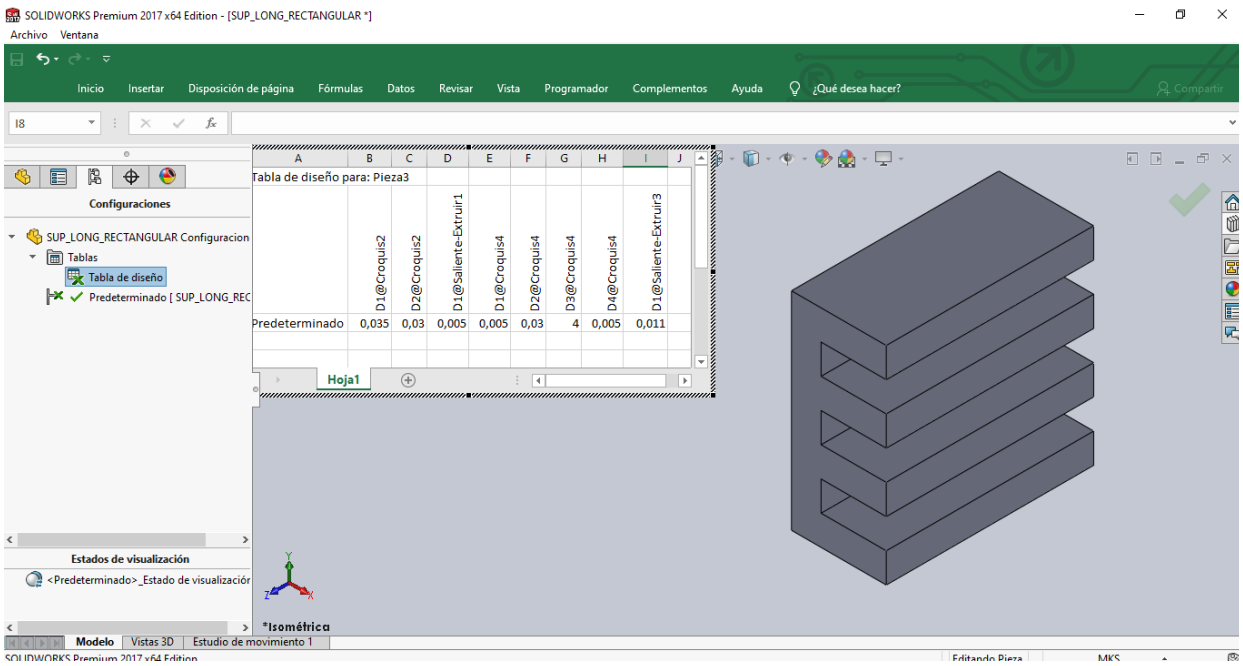


Figura 17. Diseño 3D de un arreglo de aletas de perfil rectangular en SolidWorks 2017®
Fuente: El autor

Seguidamente se procede a la interconexión entre SolidWorks® y Microsoft Excel®, para esto se ubica todos los datos geométricos en una hoja determinada, la misma que será el enlace entre estos dos softwares y contendrá todos los datos numéricos de los parámetros geométricos que permitan obtener el diseño parametrizado de la estructura. Una vez hecho esto, se procede a enlazar los datos de la hoja de Excel con los datos que se generan en el programa 3D al momento de crear una geometría.

La Figura 18, muestra la vinculación de los datos para las Aletas Longitudinales, esto se realiza al copiar cada dato geométrico de la hoja de Microsoft Excel® y pegarlo con la opción tipo vinculo en la hoja generada por SolidWorks®.

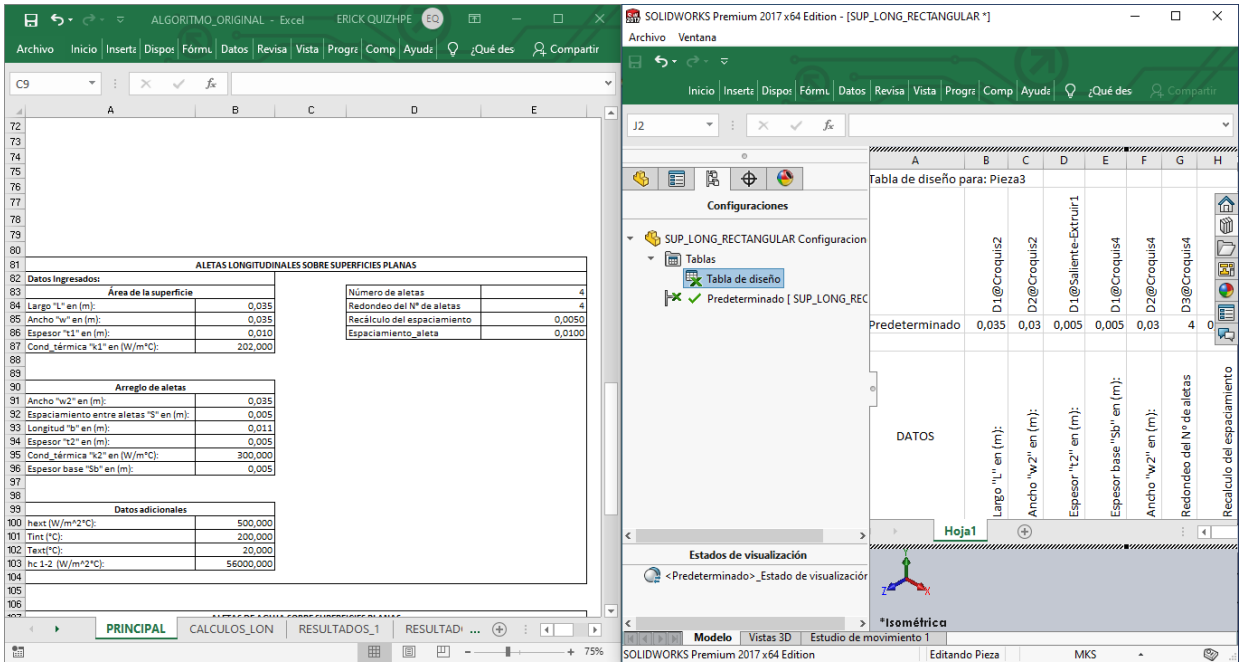


Figura 18. Vinculación de Microsoft Excel®2019 con SolidWorks® 2017
Fuente: El autor

Finalmente se procede a la realización del ensamblaje y a la simulación térmica de la estructura. La simulación térmica se realiza de forma manual, es decir el usuario tiene que ingresar los parámetros necesarios para la realización del estudio y la obtención de la curva de distribución de temperatura.

De la misma forma en que se trabajó con el ejemplo del arreglo de aletas longitudinales de perfil rectangular, se desarrolló el proyecto para el resto de estructuras, obteniendo finalmente las curvas

de distribución de temperatura tanto en SolidWorks® como Microsoft Excel®, además de los parámetros de flujo de calor, eficiencia y efectividad.

5.2.4. Diseño y Construcción del módulo DAQ

Para la realización del módulo DAQ se empieza haciendo los cálculos correspondientes tanto para la fuente de calor como para los arreglos de aletas, luego se procede a la construcción del regulador de voltaje DC, seguidamente se selecciona el sensor de temperatura y la tarjeta DAQ más adecuada, finalmente se realiza la programación del sistema DAQ en IDE de Arduino® y LabVIEW®, y se procede al montaje de los elementos constitutivos del módulo DAQ, logrando de esta manera obtener las curvas de distribución de temperatura en tiempo real.

5.2.4.1. Potencia de la placa fuente de calor

Atiendo a la disponibilidad del mercado en la ciudad de Loja, se pueden encontrar diversas resistencias en cuanto a forma, tamaño, precio, voltaje de alimentación y potencia.

Debido a que la temperatura de estas resistencias es controlada por un variador de voltaje AC, la resistencia seleccionada para la fuente de calor depende únicamente del diseñador, el cual debe tomar en consideración que mientras más alta es la potencia, más altos serán los costos para el resto del diseño de la fuente de calor (aislante, estructura de soporte, tamaño del arreglo de aletas etc.).

5.2.4.2. Recubrimiento de la placa fuente de calor

Para la selección de el recubrimiento se toma en consideración que para los alrededores se necesita un aislante sólido de manera que se pueda asegurar la fuente de calor, y el cálculo del espesor de dicho aislante depende únicamente de la ley de Fourier (Ecuación 1).

Dado que, al aplicar esta ley, la perdida de calor unidimensional no puede ser igual a cero, ya que la ecuación se anularía, el diseñador tiene que establecer un valor para esta pérdida, además de la temperatura superficial externa deseada.

5.2.4.3. Potencia disipada por los arreglos de aletas

Esta potencia se calcula con el fin de determinar cuál es la eficiencia de cada estructura, por lo cual se toma en consideración los siguientes aspectos:

a. Dimensiones y material de las aletas *(establecidos por el autor)*
b. Temperatura máxima superficial *(establecidos por el autor)*
c. Temperatura de los alrededores *(Norma IUPAC)*
d. Coeficiente de convección *(calculado por el autor)*
e. Potencia y Eficiencia de cada estructura *(calculado por el software desarrollado)*

5.2.4.4. Regulador de voltaje AC

El Regulador de voltaje construido es el planteado por (Terrazocultor, 2014**).** Con él podemos regular la tensión de 240V (ó 110V) desde un valor prácticamente cero hasta el máximo y así, la carga que le conectemos funcionará a más o menos potencia.

Los materiales utilizados son:

- 1 caja para hacer el montaje
- 1 base de salida AC empotrable
- 1 porta fusible y 1 fusible de 10 A
- 1 circuito impreso de 10cm x 5cm
- 1 resistencia de 3K3 1/2W
- 1 resistencia 8K2 1/2W
- 1 resistencia de 47 ohm 1/2W
- 3 condensadores de 100 nf a 400V
- 1diac y 1 triac BT136
- 1 potenciómetro de 220 ohm
- 1 voltímetro AC

5.2.4.5. Sistema DAQ

- **Selección del sensor de temperatura:** Los sensores de temperatura más usados en la industria por su fácil instalación y exactitud en las mediciones son las termocuplas (unión de dos metales de distinta naturaleza). Existen diversos tipos de termocupla, para lo cual se utiliza una tabla comparativa entre las ventajas y desventajas que presenta cada una, con el fin de determinar cuál es la más apta para realizar la adquisición de datos.

- **Selección de la tarjeta de adquisición de datos:** Las tarjetas DAQ más utilizadas en la actualidad por su bajo costo y su fácil programación son las tarjetas Arduino, las cuales utilizan un software libre en el que el usuario tiene la posibilidad de adaptar dicha programación de acuerdo a sus necesidades. Atiendo a la disponibilidad del mercado y según el número de termocuplas a utilizarse en el módulo DAQ se selecciona la tarjeta Arduino más adecuada.

- **Programación en IDE de Arduino® y LabVIEW®:** Para la programación tanto en IDE de Arduino® y LabVIEW®, se requiere tener conocimientos básicos sobre el funcionamiento de dichos softwares, por lo cual cabe recalcar que para el software IDE de Arduino® se necesita instalar la librería del amplificador de señal a ocupar, en nuestro caso el MAX6675 y para la conexión puerto-serial entre LabVIEW Y Arduino se requiere instalar un software adicional denominado NI-VISA.

5.2.4.6. Montaje de los elementos constitutivos del módulo DAQ

Los tres elementos principales del módulo DAQ (fuente de calor, sistema DAQ y regulador DC), se montan en un tablero de madera aglomerada, cuyos planos se encuentran detallados en el ANEXO 2.

Para la sujeción de las termocuplas sobre los arreglos de aletas se utilizó tuercas de 3/16 in de acero inoxidable soldadas sobre pernos de 1/8 in x 1/2 in al igual que en el caso anterior se encuentran los planos detallados en el mismo anexo.

5.2.4.7. Tiempo de estabilización de arreglo de aletas

El tiempo de estabilización de los arreglos de aletas se determinó experimentalmente, para lo cual se elaboró una tabla (ANEXO 3) que incluye algunos parámetros tales como: estructuras construidas, la temperatura de la fuente de calor, el tiempo de estabilización y la temperatura base máxima a la que llegan. Para dicho análisis se procedió a conectar cada arreglo de aletas construido al módulo DAQ y se esperó el tiempo necesario hasta que la temperatura en cada termocupla no sufriera cambios.

6. RESULTADOS

Como ya se mencionó anteriormente para el análisis y el diseño de los arreglos de aletas en superficies planas se seleccionó los tipos de superficies extendidas longitudinales y de aguja, las mismas que fueron analizadas con la condición de frontera para la punta expuesta a los alrededores (convección y radiación combinadas) y la metodología de cálculo utilizada para este análisis fue el de resistencias térmicas.

Siguiendo la metodología planteada por (Corona & Ancona, 2011) y utilizando los símbolos correspondientes detallados en la sección 4.3.2. se obtuvo algoritmo tipo Diagrama de flujo (Figura 19), el cual contiene una sucesión preestablecida de pasos con los cuales se puede diseñar, modelar y simular diferentes estructuras de superficies extendidas de acuerdo a nuestra conveniencia.

El algoritmo desarrollado presenta dos fases, una en Microsoft Excel® y la otra en SolidWorks®, donde cada uno cumple una función determinada. Microsoft Excel® es el encargado de realizar el análisis teórico de las superficies extendidas de acuerdo a los diversos parámetros ingresados por el usuario, basándose en un modelo matemático ya establecido, en cambio SolidWorks® es utilizado como una herramienta de parametrización 3D y de simulación térmica, de esta manera se obtienen las curvas de distribución de temperatura con datos tanto de simulación como teóricos.

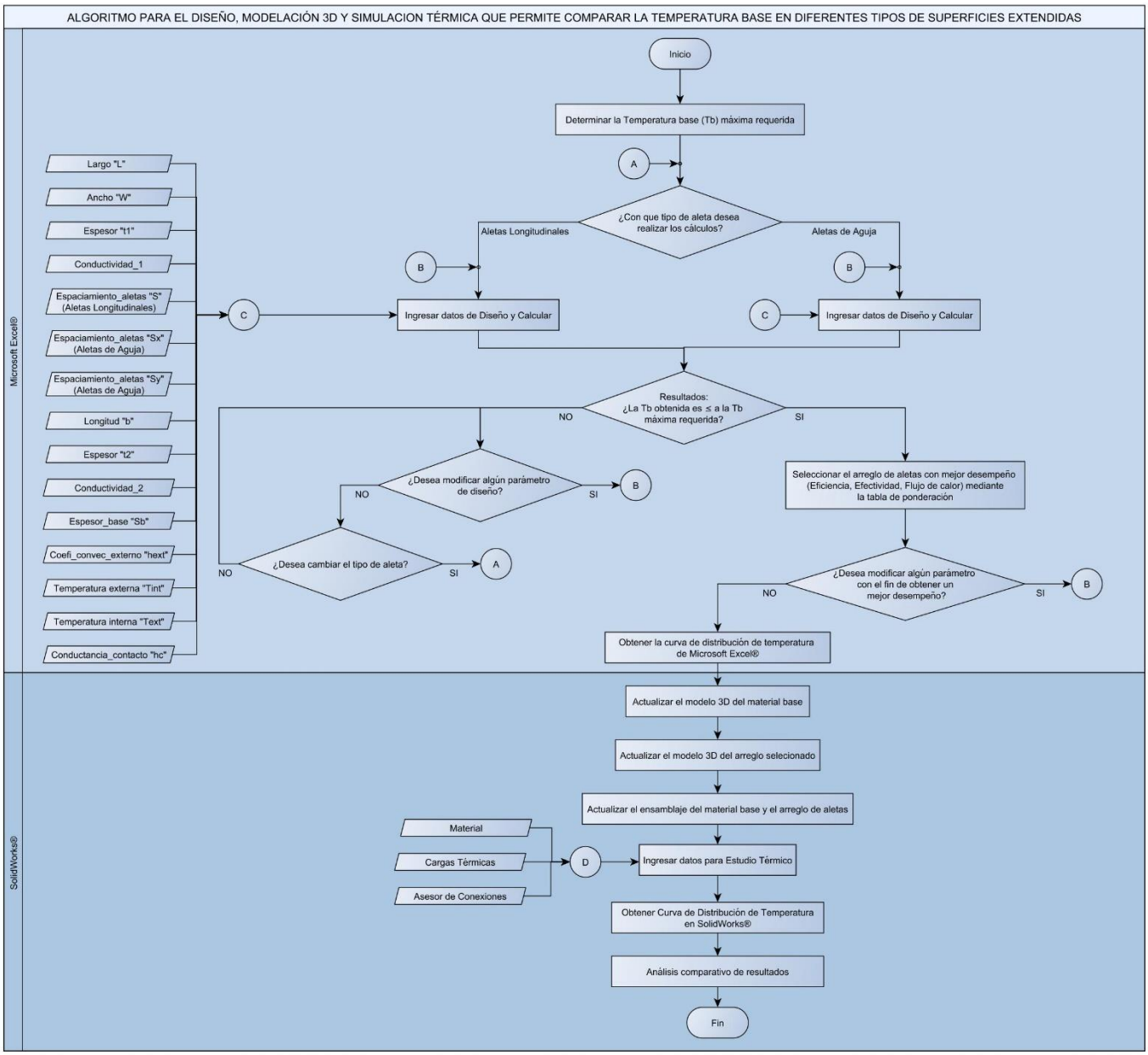


Figura 19. Algoritmo para el diseño, modelación 3D y simulación térmica que permite comparar la temperatura base en diferentes tipos de superficies extendidas
Fuente: El Autor

6.1. Programación del algoritmo en Microsoft Excel 2019®

Todas las macros desarrolladas en la aplicación fueron programadas con Visual Basic® (VBA), que es propio de Excel y cada una cumple una función determinada.

De acuerdo a lo expuesto en la metodología del proyecto, primeramente, se desarrolló una macro de presentación de la aplicación (Figura 20), la misma que fue programada para que se ejecute en

el momento en que se abra el libro de Microsoft Excel®, en dicha macro se expone el propósito de la aplicación, así como también las restricciones de la misma.

Figura 20. Interfaz de la macro de presentación de la aplicación
Fuente: El Autor

Al hacer clic en el botón aceptar o simplemente cerrar la macro nos encontramos con la hoja principal (Figura 21), en la misma que se puede identificar dos botones, uno para las superficies extendidas longitudinales y otro para las superficies extendidas de aguja.

Figura 21. Interfaz de la hoja principal en Microsoft Excel® 2019
Fuente: El autor

Los botones antes mencionados fueron ubicados con el fin de que el usuario tenga una visión clara de que la comparación solamente se realiza entre las superficies expuestas. Cada botón está programado para que al hacer clic en cualquiera de ellos se ejecute una macro, donde se puede ingresar los datos entrada para realizar el respectivo análisis. A continuación, el la Figura 22 y 23 se presenta las macros desarrolladas para los dos botones.

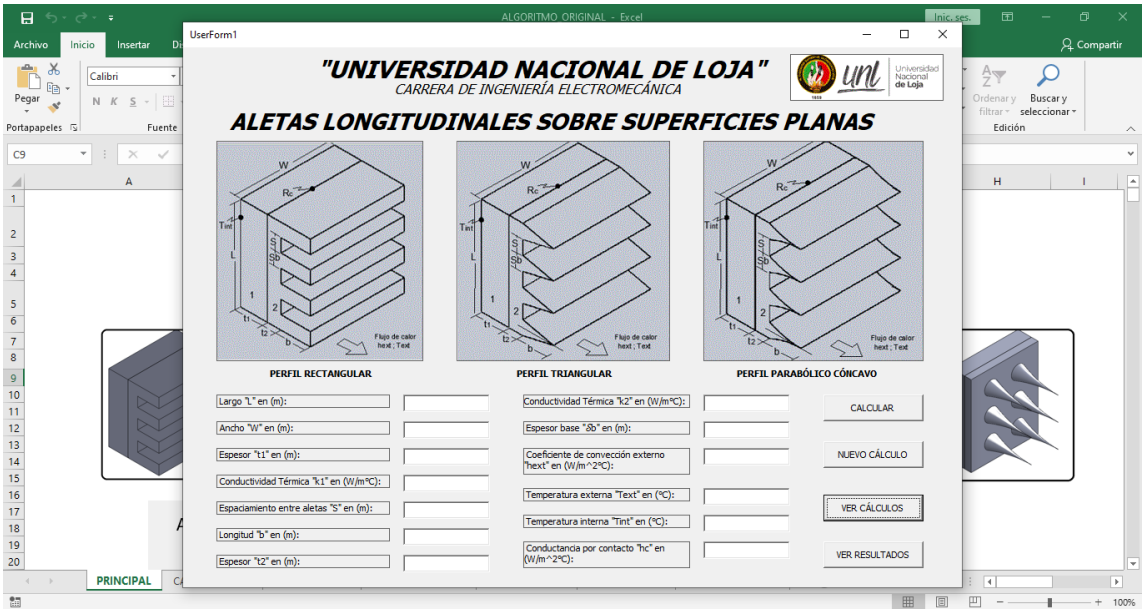


Figura 22. Interfaz de la macro para superficies extendidas longitudinales
Fuente: El autor

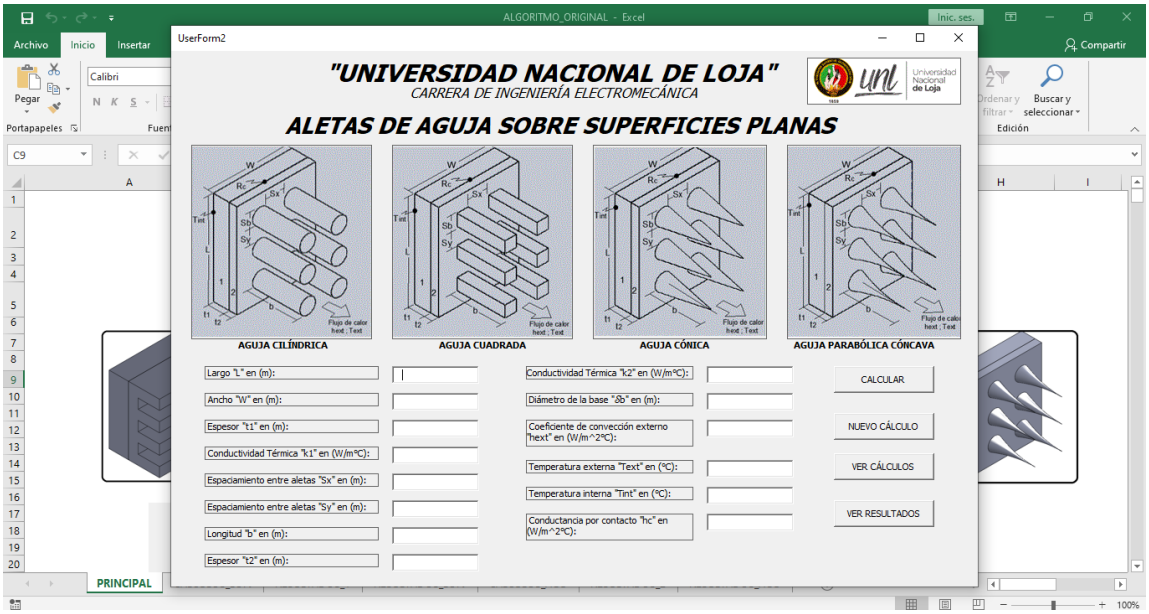


Figura 23. Interfaz de la macro para superficies extendidas tipo aguja
Fuente: El autor

Cada interfaz posee cuatro botones de mando (CALCULAR, NUEVO CÁLCULO, VER CÁLCULOS, VER RESULTADOS), donde cada uno está configurado para realizar una función determinada.

Botón CALCULAR. – Ingresa los datos a la hoja "PRINCIPAL" para el cálculo, si se cumple las siguientes condiciones:

a. Todos los casilleros están llenos.
b. La Longitud "L" es mayor e igual a $(2\mathcal{S}b + S)$ *(Superficies extendidas Longitudinales)*
c. La Longitud "L" es mayor e igual a $(2\mathcal{S}b + 3Sx)$ *(Superficies extendidas Tipo Aguja)*
d. La Longitud "L" es mayor e igual a $(2\mathcal{S}b + 3Sy)$ *(Superficies extendidas Tipo Aguja)*
e. La longitud "b" máxima de la aleta es de 15cm.
f. La igualdad $(m * b < 2{,}5)$ se cumple.

Si alguna de estas condiciones no se cumple el botón está programado para que envié un mensaje de error.

Botón NUEVO CÁLCULO. – Borra completamente los datos ingresados por el usuario.

Botón VER CÁLCULOS. - Redirecciona a la hoja de cálculo en donde se puede observar el procedimiento desarrollado con los datos ingresados.

Al igual que en el botón CALCULAR si no se cumple alguna de las restricciones mencionadas te envía un mensaje de error, a excepción de la restricción a), ya que, si todos los casilleros están vacíos, te envía un mensaje de que no se han ingresado datos y que los cálculos que se van a mostrar son los realizados anteriormente.

Botón VER RESULTADOS. – Contiene prácticamente las mismas restricciones del botón VER CÁLCULOS. Redirecciona a la hoja de resultados donde se puede comparar la temperatura base de las diferentes estructuras. Si se está conforme con los resultados, dicha hoja contiene un botón denominado Tabla de ponderación, el cual al pulsarlo muestra una tabla en el que se puede comparar las variables: eficiencia global del arreglo, flujo de calor total, temperatura en la base, temperatura en la punta y efectividad, para cada estructura mediante la asignación de pesos de acuerdo al grado de importancia de cada variable. Siguiendo con la secuencia del diagrama de

flujo desarrollado se configuro un botón de retorno a la página principal en cada una de las hojas, donde el usuario tiene la posibilidad de realizar un nuevo cálculo con otro tipo de superficie extendida.

Además de la configuración de cada uno de los botones la macro está programada para que solamente acepte números, tanto decimales como enteros. La programación tanto para la macro como para los botones se encuentra detallada en el ANEXO 4. A continuación, en la Figura 24, se puede observar parte de la misma.

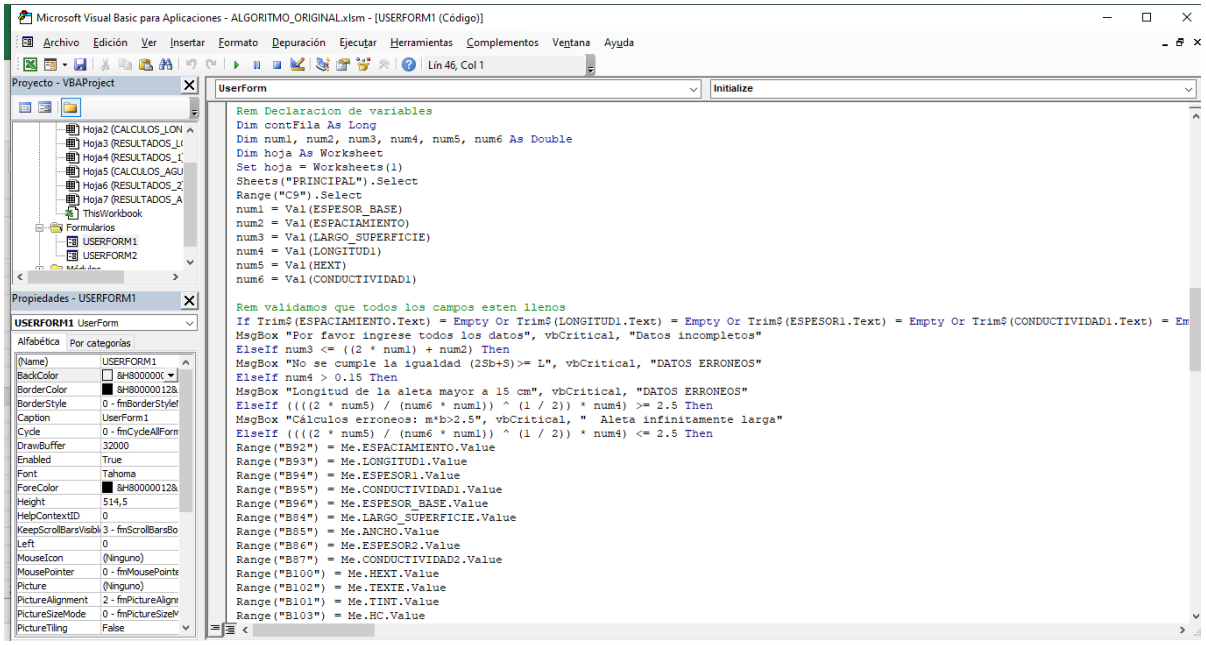


Figura 24. Hoja de programación de los botones de la aplicación
Fuente: El autor

Para la obtención de las hojas tanto de cálculos como de resultados, se procede a la programación básica de Microsoft Excel®, el cual posee diversas funciones, las mismas que hacen posible ingresar las ecuaciones citadas en la metodología de cálculo planteada en el proyecto, además de ello permite realizar condicionales para la tabla de ponderación y crear las gráficas de distribución de temperatura. A continuación, en las Figuras 25,26,27,28, se muestran parte de las hojas programadas para las superficies extendidas longitudinales.

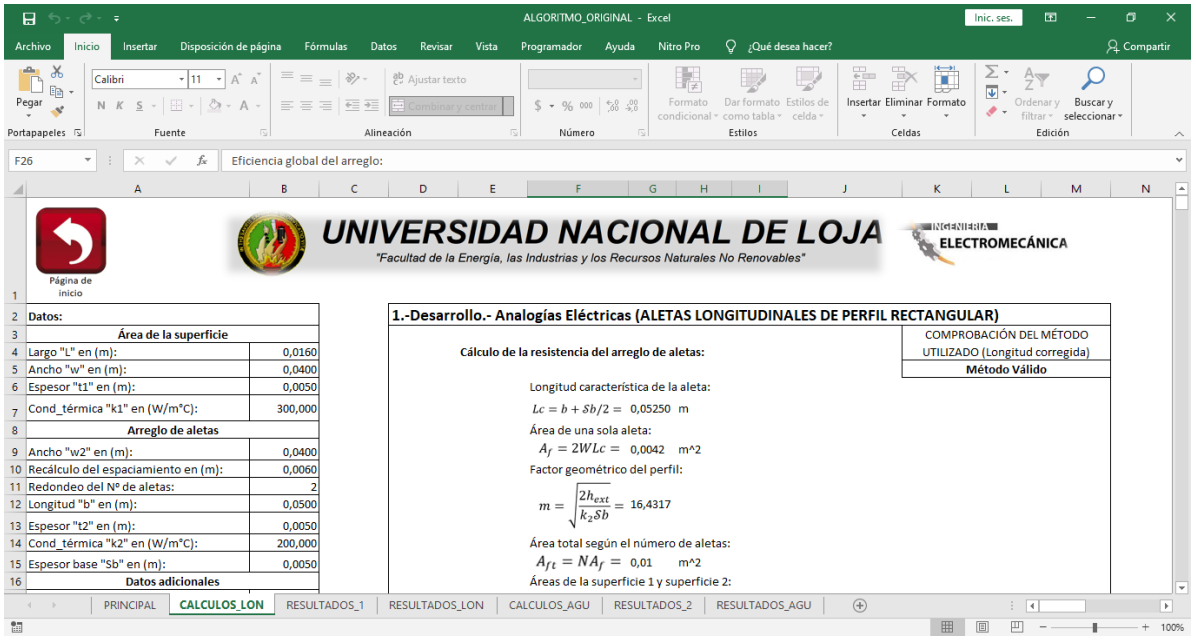


Figura 25. Hoja de cálculos (Aletas longitudinales)
Fuente: El autor

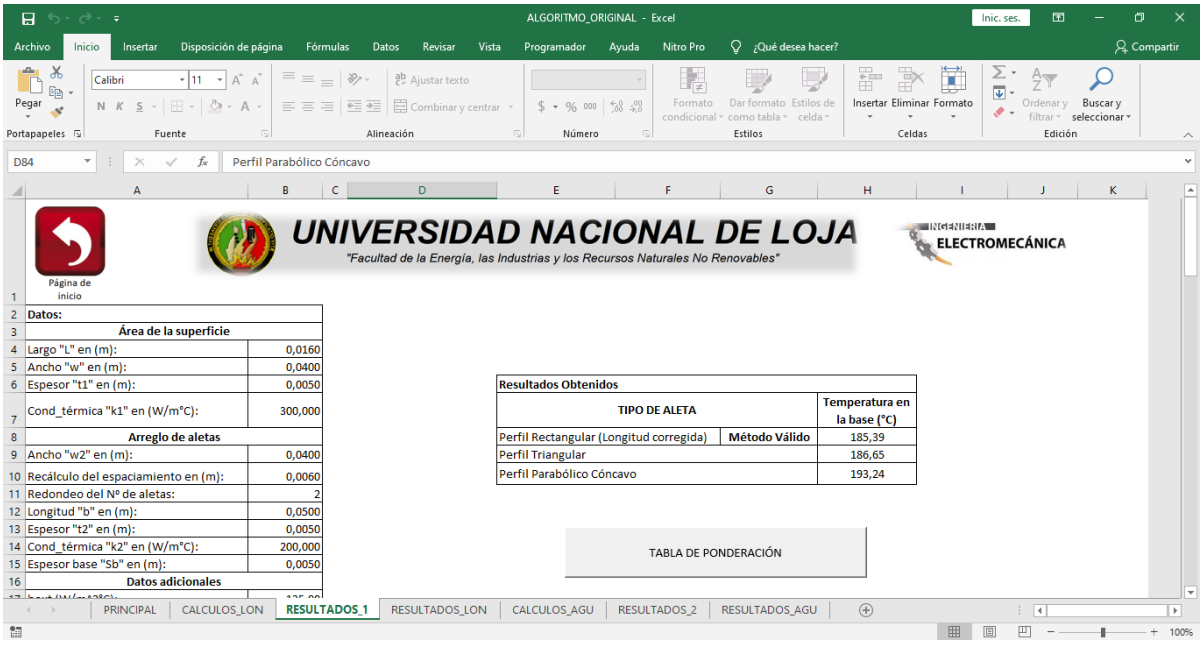


Figura 26. Hoja de resultados (Aletas longitudinales)
Fuente: El autor

Figura 27. Tabla de ponderación (Aletas longitudinales)
Fuente: El autor

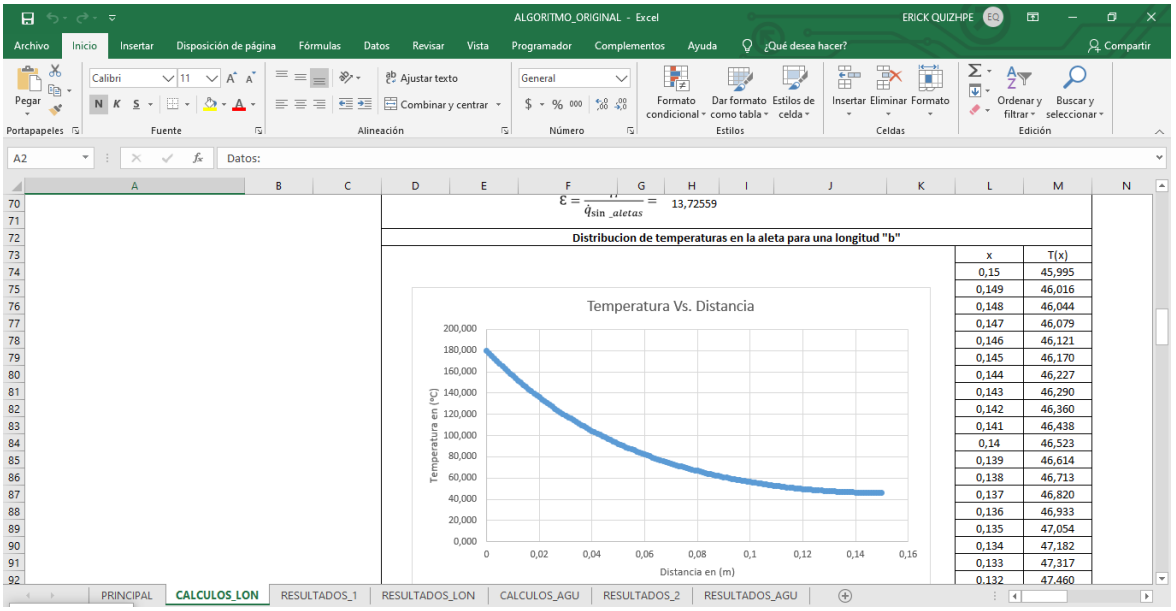


Figura 28. Curva de distribución de temperatura en Microsoft Excel® 2019 (Aletas longitudinales)
Fuente: El autor

Seguidamente se muestra parte de las hojas programadas para las superficies extendidas tipo aguja

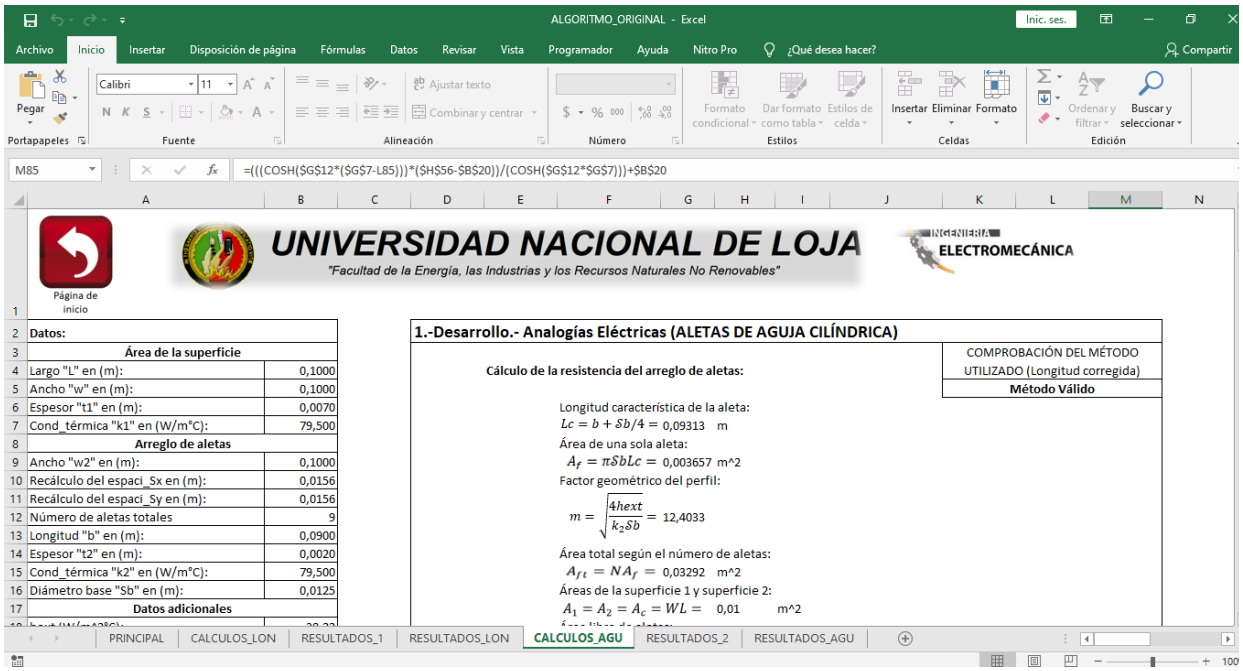


Figura 29. Hoja de cálculos (Aletas tipo aguja)
Fuente: El autor

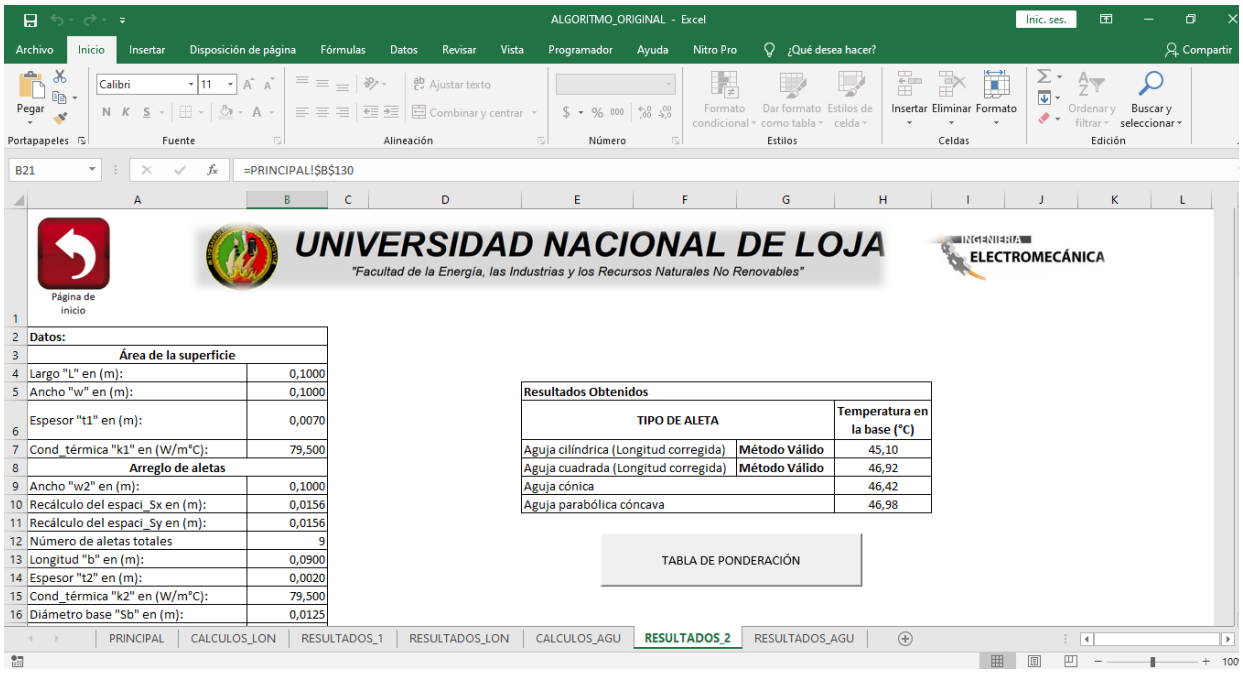


Figura 30. Hoja de resultados (Aletas tipo aguja)
Fuente: El autor

Figura 31. Tabla de ponderación (Aletas tipo aguja)
Fuente: El autor

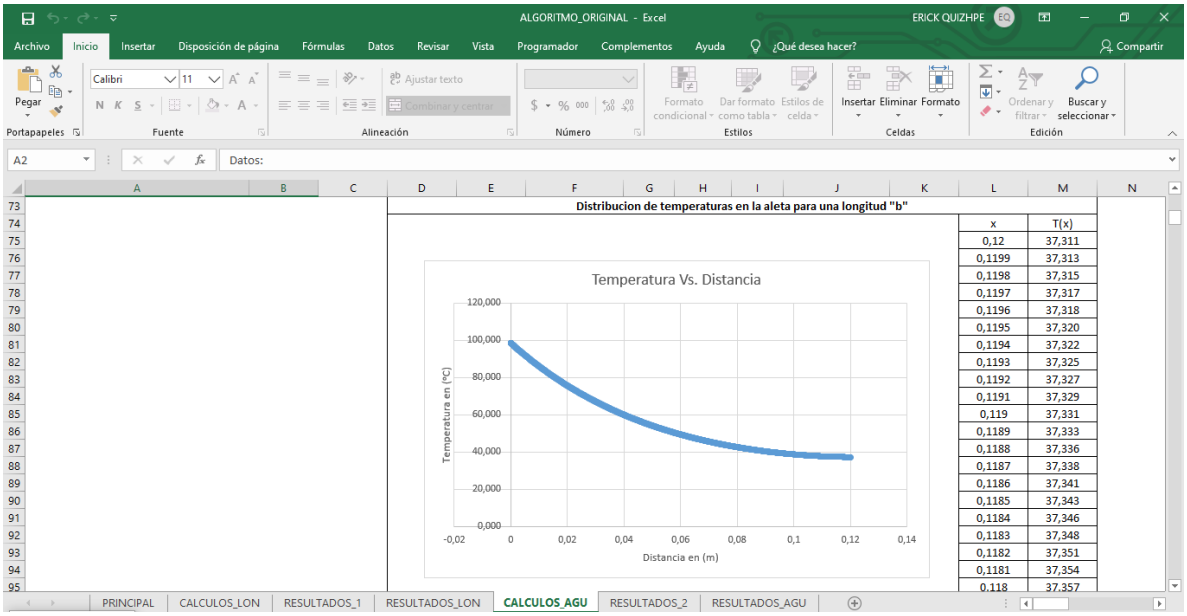


Figura 32. Curva de distribución de temperatura en Microsoft Excel® 2019 (Aletas tipo aguja)
Fuente: El autor

Dependiendo de los datos ingresados en la macro, las hojas se modifican automáticamente, logrando de esta manera que el usuario pueda realizar una comparación rápida entre las diferentes superficies extendidas.

6.2. Vinculación entre Microsoft Excel® y SolidWorks®

Como antes se mencionó, la vinculación entre programas se la hará por medio de una hoja de cálculo, la cual contendrá todos los datos necesarios para la construcción geométrica del arreglo de aletas, dicha hoja se ha denominado hoja "Principal". A continuación (Figuras 33 y 34), se muestran las celdas programadas tanto para las aletas Longitudinales como para las aletas tipo aguja.

ALETAS LONGITUDINALES SOBRE SUPERFICIES PLANAS			
Datos Ingresados:			
Área de la superficie			
Largo "L" en (m):	0,016		
Ancho "w" en (m):	0,040		
Espesor "t1" en (m):	0,005		
Cond_térmica "k1" en (W/m°C):	300,000		
		Número de aletas	2,1
		Redondeo del Nº de aletas	2
		Recálculo del espaciamiento	0,0060
		Espaciamiento_aleta	0,0110
Arreglo de aletas			
Ancho "w2" en (m):	0,040		
Espaciamiento entre aletas "S" en (m):	0,005		
Longitud "b" en (m):	0,150		
Espesor "t2" en (m):	0,005		
Cond_térmica "k2" en (W/m°C):	200,000		
Espesor base "Sb" en (m):	0,005		
Datos adicionales			
hext (W/m^2°C):	135,000		
Tint (°C):	200,000		
Text(°C):	20,000		
hc 1-2 (W/m^2°C):	56000,000		

Figura 33. Hoja de vinculación de Microsoft Excel 2019® con SolidWorks 2017® (Aletas longitudinales)
Fuente: El Autor

ALETAS DE AGUJA SOBRE SUPERFICIES PLANAS			
Datos Ingresados:			
Área de la superficie			
Largo "L" en (m):	0,1		
Ancho "w" en (m):	0,1		
Espesor "t1" en (m):	0,007		
Cond_térmica "k1" en (W/m°C):	79,5		
Arreglo de aletas			
Ancho "w2" en (m):	0,1		
Espaciamiento entre aletas "Sx" en (m	0,025		
Espaciamiento entre aletas "Sy" en (m	0,025		
Longitud "b" en (m):	0,12		
Espesor "t2" en (m):	0,002		
Cond_térmica "k2" en (W/m°C):	79,5		
Diametro base "Sb" en (m):	0,0125		
Datos adicionales			
hext (W/m^2°C):	78,92		
Tint (°C):	100		
Text(°C):	20		
hc 1-2 (W/m^2°C):	56000		
		Número de aletas en "x"	2,0000
		Redondeo del N° de aletas "x"	2,0000
		Recálculo del espaci_Sx en (m	0,0250
		Número de aletas en "y"	2,0000
		Redondeo del N° de aletas "y"	2,0000
		Recálculo del espaci_Sy en (m	0,0250
		Número de aletas totales	4,0000
		Datos de diseño adicionales	
		"Sx" del estremo_centro_base	0,0313
		"Sy" del estremo_centro_base	0,03125
		Espaciamiento "Sx" _centro_base	0,0375
		Espaciamiento "Sy" _centro_base	0,0375
		Dimension Sb' de la aleta cuadrada	0,008838835

Figura 34. Hoja de vinculación de Microsoft Excel 2019® con SolidWorks® (Aletas tipo aguja)
Fuente: El Autor

Como se puede observar, las dos hojas no tienen solamente parámetros geométricos, sino que también incluyen parámetros para el análisis térmico, esto se debe a que todos los datos ingresados en la macro principal se ubican en esta sección, por lo cual la vinculación con el software de diseño 3D paramétrico se realizó por celdas, tomando en consideración solo las celdas que contengan parámetros geométricos.

Tanto la base como el arreglo de aletas son creadas en archivos diferentes, por lo cual para que se actualicen hay que hacerlo por separado, para que finalmente quede el ensamble.

Para cargar la hoja de cálculo en SolidWorks®, vamos a insertar (parte superior), seleccionamos Tabla y luego Tabla de diseño, se puede observar que automáticamente se crea una tabla de Excel donde se encuentran todos los parámetros ingresados en la construcción del modelo 3D. Una vez cargada la hoja, se procede a enlazar los datos de lo hoja de Excel con cada uno de los parámetros que han sido preestablecidos por el programa al momento de realizar la pieza, esto se realiza al copiar cada una de las celdas de Microsoft Excel® y pegarlas como vinculo a la hoja creada por SolidWorks®. Como se observa en la Figura 35, por ejemplo, el parámetro “D1@Croquis4”

establecido por el programa corresponde al espesor de la base de las aletas. Esta vinculación se realiza tipo dirección, debido a ello para que la vinculación este siempre vigente el programa desarrollado en Microsoft Excel® debe estar siempre ubicado en la dirección con la que se hizo la vinculación, en nuestro caso la carpeta que contiene el programa debe ser ubicado en el Disco local C. Si el usuario desea tener la accesibilidad al archivo de Microsoft Excel® desde otra dirección, obligatoriamente tendrá que crear un acceso directo.

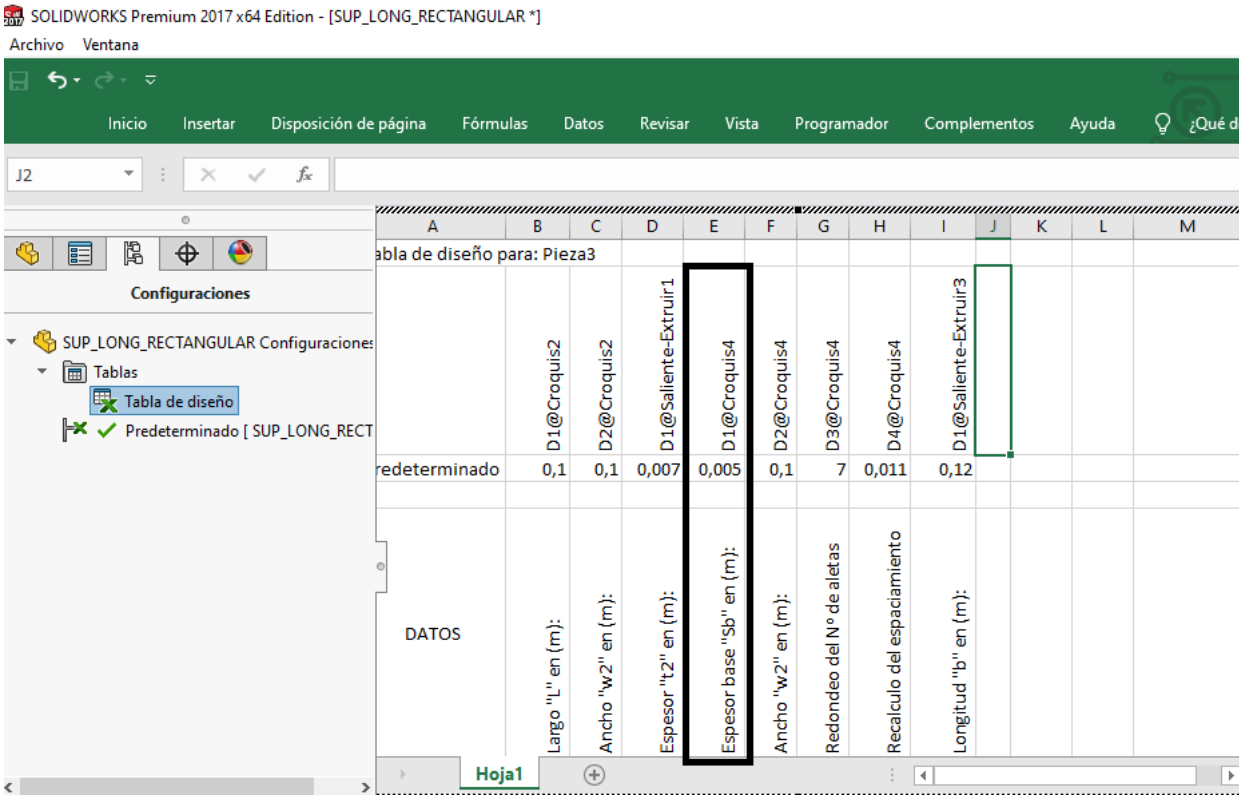


Figura 35. Cuadro de parámetros de la geometría del arreglo de aletas generada por SolidWorks®
Fuente: El Autor

Finalmente, cada vez que se realicen variaciones de los parámetros de entrada de la aplicación, se tiene que actualizar los cambios en el software de diseño 3D, como se observa en la Figura 36, se lo puede realizar dirigiéndose a la opción Configuración Manager, clic derecho en tabla de diseño, seleccionar editar tabla y se actualiza automáticamente.

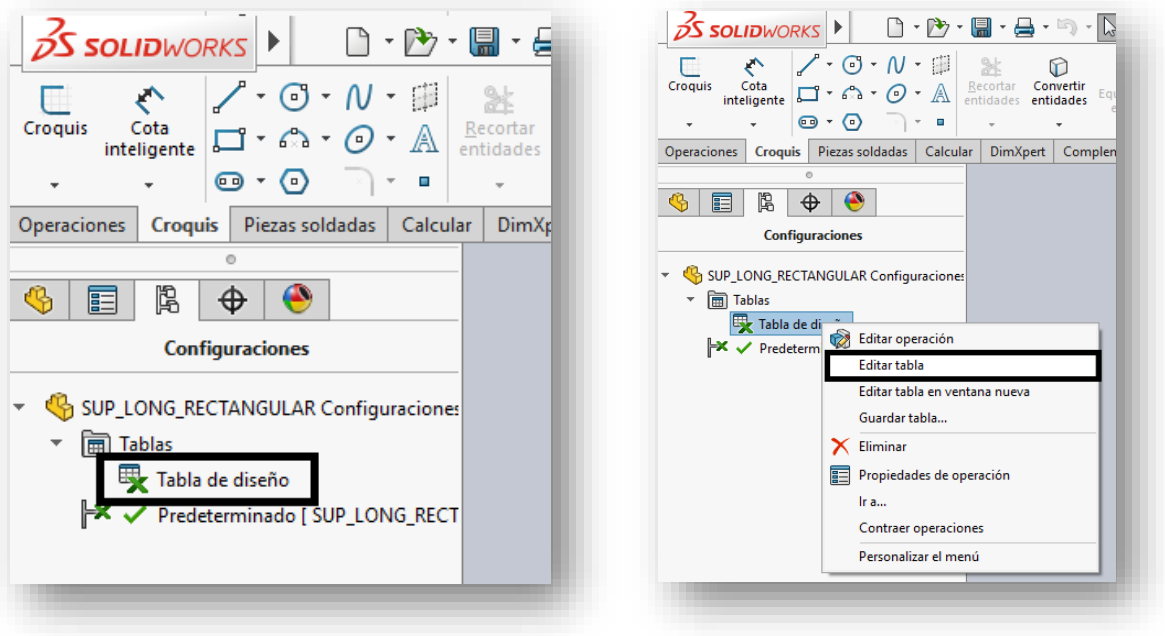


Figura 36. Herramienta para actualizar datos del arreglo de aletas
Fuente: El Autor

Cabe recalcar que el arreglo de aletas (Figura 37), se lo hizo tipo ensamble, con el fin de poder asignar los respectivos parámetros para la simulación térmica de las mismas.

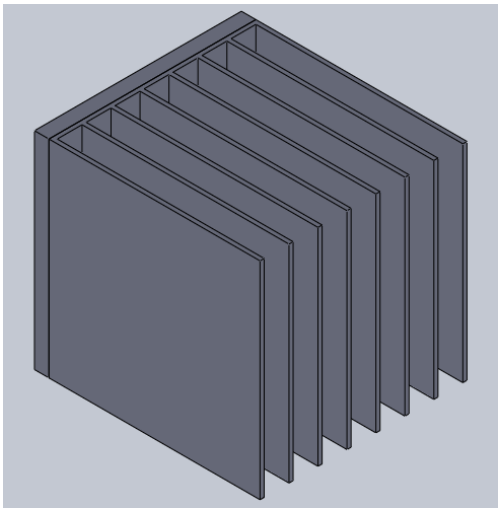


Figura 37. Arreglo de aletas longitudinales de perfil rectangular parametrizado
Fuente: El Autor

6.3. Simulación térmica

Una vez obtenido el ensamble correspondiente se procede a obtener la curva de distribución de temperatura con la ayuda de SolidWorks® mediante un estudio térmico. Primeramente, se accede a la opción Simulation, se selecciona Nuevo estudio, se escoge la opción térmica y se procede a la asignación de parámetros como son: tipo de material, cargas térmicas y asesor de conexiones. En la siguiente gráfica (Figura 38) se puede identificar cada uno de los iconos correspondientes.

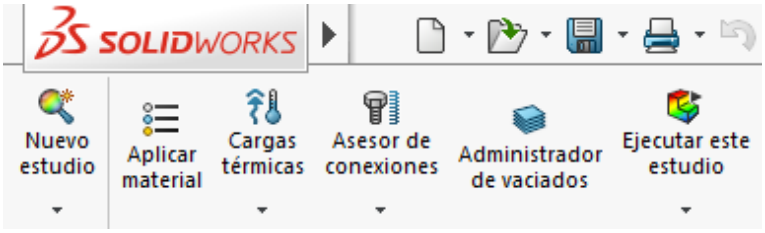


Figura 38. Iconos para la asignación de parámetros en el estudio térmico
Fuente: El Autor

Luego de haber ingresado cada uno de los parámetros y de hacer clic en ejecutar nuevo estudio se obtiene un resultado como en el que se muestra en la siguiente gráfica (Figura 39), donde se puede observar el flujo de calor a lo largo del arreglo de aletas.

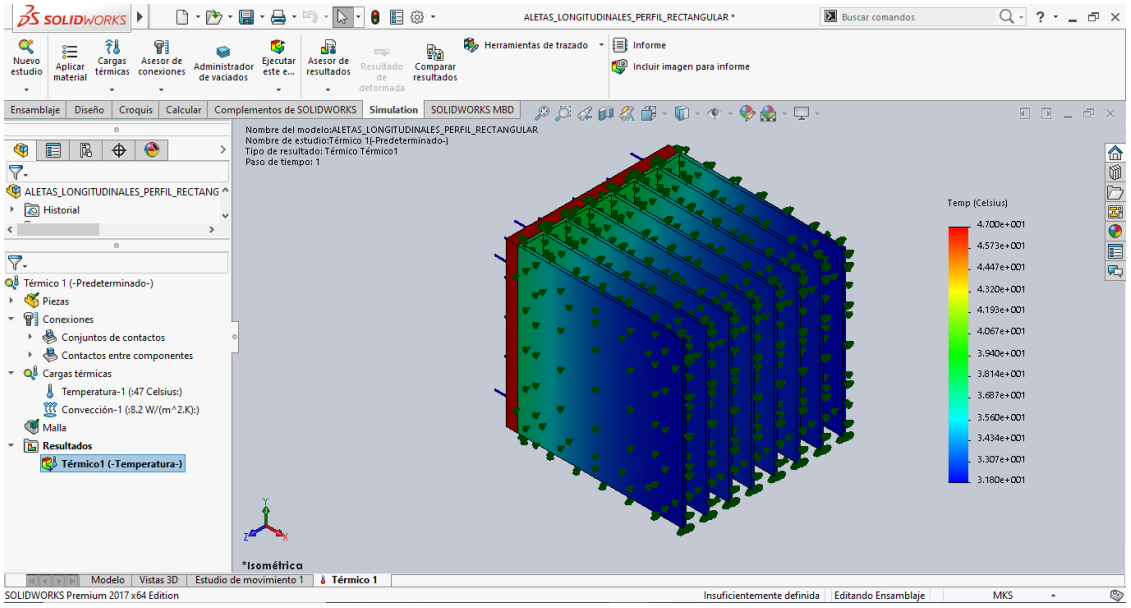


Figura 39. Representación de la simulación térmica en arreglo de aletas longitudinales
Fuente: El Autor

Para obtener la curva de distribución de temperatura se hace clic derecho en Térmico 1 y se selecciona la opción identificar valores (Figura 40).

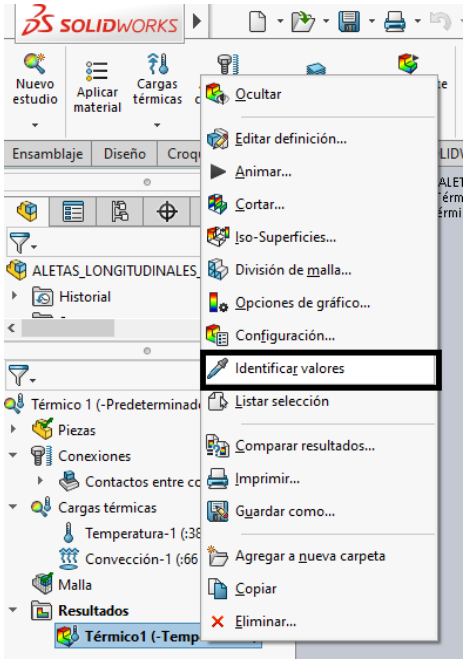


Figura 40. Obtención de la curva de distribución de temperatura en SolidWorks®
Fuente: El Autor

Luego se selecciona diferentes puntos a lo largo de una aleta y se escoge la opción Plot la cual te arroja la gráfica Temperatura Vs Distancia, como se puede observar a continuación:

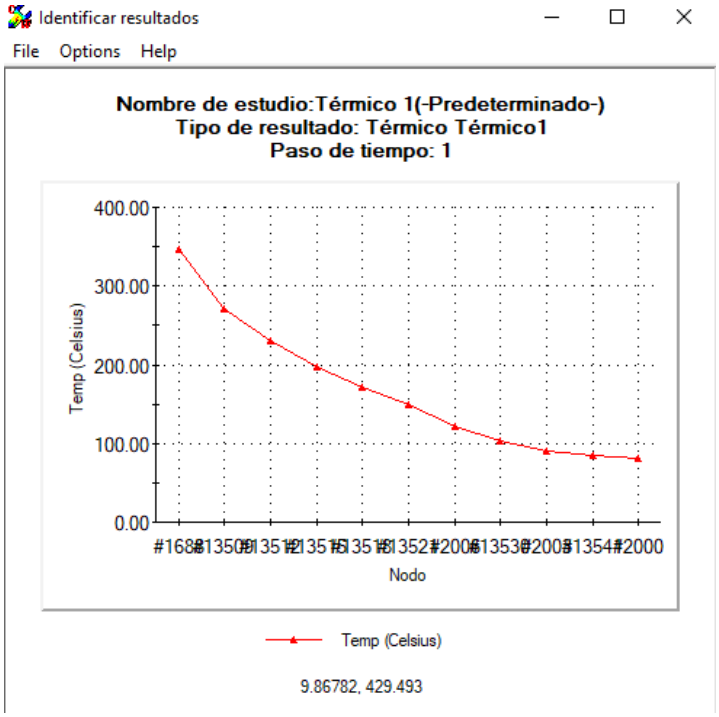


Figura 41. Curva de distribución de temperatura obtenida en SolidWorks®
Fuente: El Autor

Además, SolidWorks® contiene una opción que permite guardar los datos seleccionados en un archivo de Texto o en un archivo de Microsoft Excel® en formato csv.

Con esto el usuario tiene la posibilidad de realizar una comparación entre las curvas obtenidas con el programa desarrollado en Microsoft Excel® y las curvas obtenidas en SolidWorks®.

6.4. Diseño y construcción del módulo DAQ para la validación del algoritmo

El módulo DAQ (Figura 42) consiste en una fuente de energía calorífica que es calentada con una resistencia eléctrica. La fuente de calor está controlada por un circuito variador de voltaje (AC), el mismo que permite variar la temperatura en dicha fuente; el montaje se lo realizó sobre una estructura de fibra de cemento (Conductividad térmica baja) en sus alrededores para una mejor sujeción y en su parte posterior con fibra de vidrio y madera aglomerada, esto permitió que el flujo de calor sea significativo en una sola dirección.

Las aletas que son instaladas en la base de la fuente de calor alcanzan su temperatura de operación en un tiempo determinado y en ese momento se deben registrar los datos de temperatura a un ordenador, o también llamado HMI (Interfaz Hombre Máquina).

Para obtener dicha temperatura se instaló termocuplas tipo K; la señal eléctrica que proporciona la termocupla primero es amplificada por el MAX6675[10] y luego es llevada a la PC.

[10] El MAX6675 es un dispositivo que cumple la función de amplificar, compensar y convertir a digital el voltaje generado por el termopar, lo que hace muy sencilla la tarea de conectar un sensor a un microcontrolador.

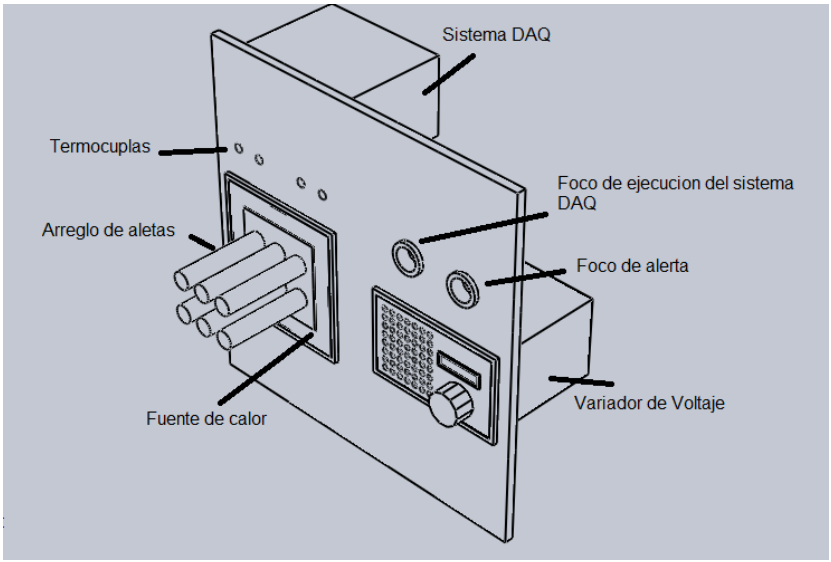


Figura 42. Módulo DAQ
Fuente: El Autor

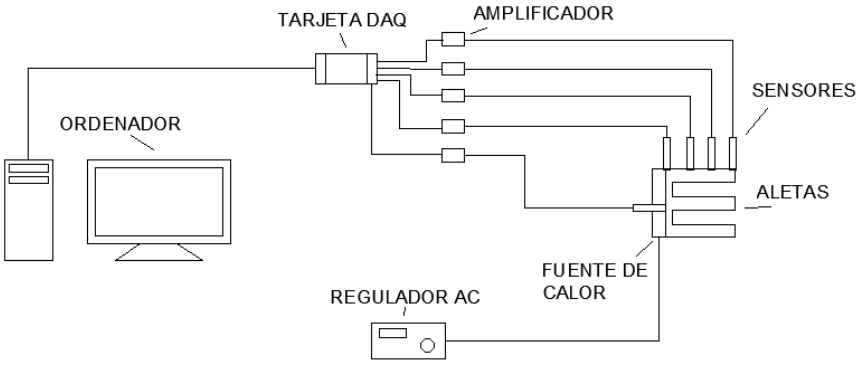


Figura 43. Diagrama unifilar del módulo DAQ
Fuente: El autor

6.4.1. Potencia de la fuente de calor

Atendiendo a la disponibilidad del mercado y dado a que no se necesita una fuente de calor demasiado grande se seleccionó una resistencia en forma de espiral de 500W a 110V- 4,5A; diámetro aproximado de 11,2 cm y un espesor de 0,5 cm. Experimentalmente se ha determinado que dicha resistencia al conectarla directamente a una fuente de alimentación de 110V alcanza una temperatura máxima de 600ºC, la cual es una temperatura demasiado elevada, aquí entra la participación del regulador de voltaje, el mismo que le brinda la posibilidad al usuario de que

pueda jugar con la temperatura de la fuente de calor. Sin embargo, cabe recalcar que se adoptó utilizar un mecanismo el cual restringe al regulador de voltaje a aproximadamente 20V con el mismo que se obtiene una temperatura máxima de 105ºC, debido a que el módulo construido es con fines didácticos y no se requiere una fuente de calor con una temperatura demasiado elevada. Si en un futuro se desea una temperatura más elevada en el módulo, se puede retirar el mecanismo y modificar la programación de la tarjeta DAQ, de modo que para los cálculos del recubrimiento de la fuente de calor se toma como dato de diseño los 600°C

Con el fin de que el flujo de calor sea uniforme se construyó una caja cuadrada de 11,5 cm y un espesor de 0,6 cm de plancha de acero inoxidable de 0,4 mm, en la misma que se colocó internamente la resistencia antes seleccionada.

6.4.2. Recubrimiento de la placa fuente de calor

Se utilizó dos tipos de aislante térmico (lana de vidrio con $k_1 = 0.039\ W/m°C$ y madera aglomerada $k_2 = 0.095\ W/m°C$).

La primera capa de aislante de la placa fuente de calor se la realizó de lana de vidrio, la misma que fue recubierta con láminas de acero inoxidable de 0.4 mm de espesor, con el objetivo de que las mismas le otorguen un mejor aspecto al recubrimiento. Dado esto el flujo de calor proveniente de la parte frontal de la placa fuente de calor empezó a incrementar la temperatura a lo largo de las láminas, para lo cual se utilizó una tercera capa de aislante, la madera aglomerada.

Consideraciones para la realización de los cálculos:

- Las láminas de acero inoxidable son superficies infinitamente delgadas, por lo cual su resistencia térmica no se toma en consideración para los cálculos.
- La temperatura máxima de la placa fuente de calor en todas sus superficies es de 600°C (Valor obtenido experimentalmente), por lo que se toma dicho valor como la temperatura interna.
- Como parámetros de diseño se establece que la temperatura máxima en la superficie externa del recubrimiento de madera aglomerada sea de aproximadamente 35°C.

- Los parámetros de diseño en cuanto a la pérdida de calor en los laterales y en la parte posterior se adopta de 0,5W y 8W respectivamente, dichos valores se proyectaron con el fin de utilizar la norma (NEC-11, 2011)[11] (Capitulo 13-Eficiencia energética), donde se establece que el coeficiente global "U" máximo de transferencia de calor en función del tipo de cerramiento y la zona climática sea de $1{,}5\ \frac{W}{m^2 * K}$ para cubiertas en contacto con el aire. Después de obtener todos los espesores del aislamiento, se valida esta normativa al aplicar la formula del coeficiente global de transferencia de calor, en el caso de no cumplirse dicha normativa los valores adoptados para las pérdidas de calor deben ser reajustados. El área de flujo para los laterales es (11,5 cm x 0,6 cm) y para la parte posterior (11,5 cm x 11,5 cm).
- El espesor de las planchas de madera aglomerada disponible en el mercado es de 1,5 cm.

Como se puede observar en las consideraciones anteriores, solamente se requiere calcular el espesor de la primera capa, la lana de vidrio (Figura 44).

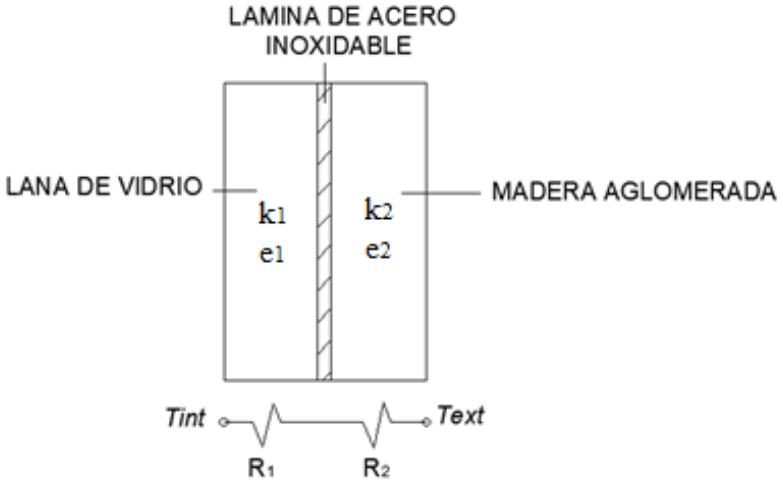


Figura 44. Resistencias térmicas del aislamiento de la fuente de calor
Fuente: El autor

Aplicando la Ecuación (6) se tiene:

$$\dot{Q}_{cond,perd} = \frac{T_1 - T_2}{R_{total}} = \frac{Tint - Text}{R_1 + R_2}$$

[11] NEC-11. – Norma Ecuatoriana de la construcción

Reemplazando $R_1\ y\ R_2$ con la Ecuación (7)

$$\dot{Q}_{cond,perd} = \frac{Tint - Text}{\left(\frac{e_1}{k_1 A} + \frac{e_2}{k_2 A}\right)}$$

El espesor de la lana de vidrio en los laterales y en la parte posterior es:

$$e_1 = \frac{(Tint - Text) * A * k_1}{\dot{Q}_{cond,perd}} - \frac{e_2 * k_1}{k_2}$$

$$e_{1,lateral} = \frac{(600 - 35) * (0{,}115 * 0{,}006) * (0{,}039)}{0{,}5} - \frac{0{,}015 * 0{,}039}{0{,}095} = 0{,}024\ m \backsimeq \mathbf{2{,}5\ cm}$$

$$e_{1,posterior} = \frac{(600 - 35) * (0{,}115^2) * (0{,}039)}{8} - \frac{0{,}015 * 0{,}039}{0{,}095} = 0{,}0302\ m \backsimeq \mathbf{3\ cm}$$

Ahora se procede a la validación de la Norma (NEC-11, 2011), para ello se utiliza una nueva ecuación, la del coeficiente global de transferencia de calor, la misma que se expone a continuación:

$$U = \frac{1}{\frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2}} \qquad \textit{Ecuación (83)}$$

El coeficiente global para los laterales y para la parte posterior es:

$$U_{Lateral} = \frac{1}{\frac{0{,}025}{0{,}039} + \frac{0{,}015}{0{,}095}} = 1{,}25\ \frac{W}{m^2 * K}$$

$$U_{posterior} = \frac{1}{\frac{0{,}03}{0{,}039} + \frac{0{,}015}{0{,}095}} = 1{,}01\ \frac{W}{m^2 * K}$$

Como se puede observar si se cumple la normativa ya que el coeficiente global máximo de pérdida por transferencia de calor es $1{,}5\ \frac{W}{m^2 * K}$, para que un recinto en contacto con el aire sea eficientemente energético.

6.4.3. Potencia disipada por los arreglos de aletas

a. Dimensiones y material de las aletas

Uno de los materiales más comunes de nuestra localidad es el hierro dulce[12] o hierro forjado (conductividad térmica de 79,5 $W/m°C$), por lo cual se selecciona este material tanto para elaboración del material base como para los arreglos de aletas.

Para el material base se utilizó una placa cuadrada de 0,1 m, con un espesor de 7mm.

Las superficies extendidas elaboradas son:

- Aletas longitudinales de perfil rectangular
- Aletas de Aguja cilíndrica
- Aletas de Aguja cuadrada

A continuación, en las Figuras 45, 46 y 47 se pueden observar las dimensiones de cada tipo:

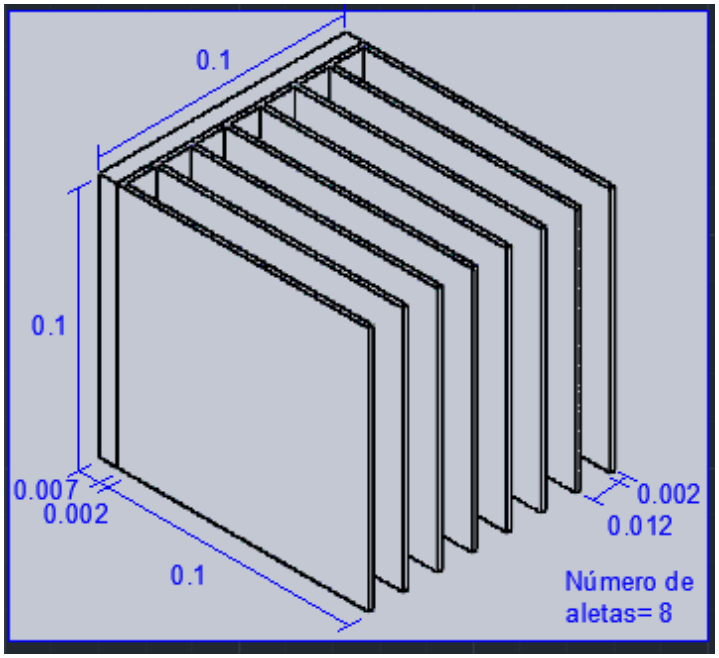


Figura 45. Dimensiones de los arreglos las aletas en metros (Longitudinal de perfil rectangular)
Fuente: El Autor

[12] Hierro dulce o hierro forjado es un material que posee la propiedad de ser forjado y martillado cuando está muy caliente (al rojo) y que se endurece enfriándose rápidamente.

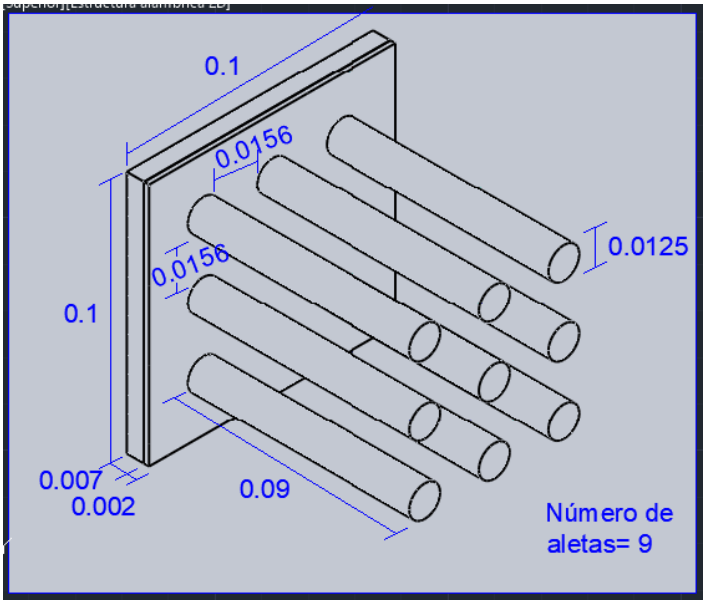


Figura 46. Dimensiones de los arreglos las aletas en metros (Aguja cilíndrica)
Fuente: El Autor

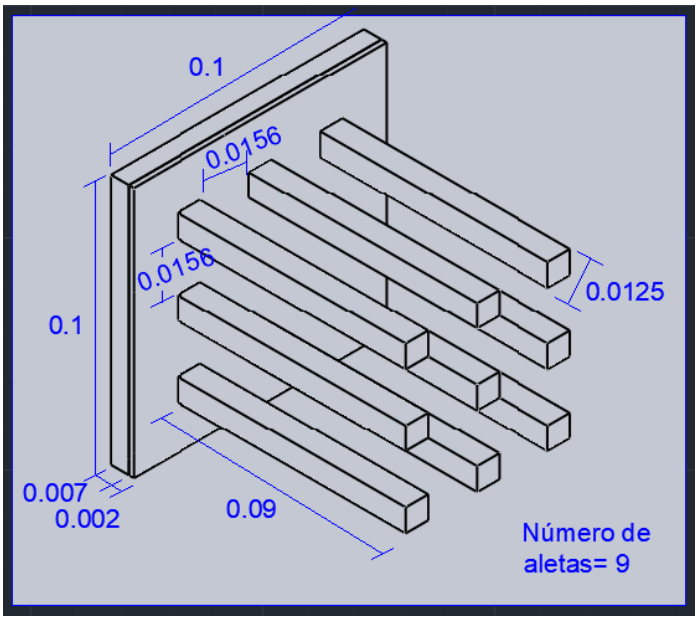


Figura 47. Dimensiones de los arreglos las aletas en metros (Aguja cuadrada)
Fuente: El Autor

b. Temperatura máxima superficial

De acuerdo a (20 minutos, 2019) la temperatura máxima que aguanta el ser humano sin sentir molestia es de 55ºC, por lo cual se toma en consideración dicha temperatura en la

programación del sistema DAQ, al instalar una luz de alerta (Color rojo) que se activa si se supera la temperatura antes mencionada en la base de los arreglos de aletas, esto con el fin de otorgarle seguridad al usuario.

c. Temperatura de los alrededores

Según la unión internacional de química pura y aplicada (IUPAC[13], siglas en inglés) recomienda que las temperaturas estándares para los laboratorios (lugar donde va a ser ubicado el módulo) sean de alrededor de 20ºC, sin embargo, con el fin de obtener un dato más preciso, experimentalmente se ha realizado mediciones con la ayuda de un instrumento denominado "anemómetro" (Figura 48) tanto para la temperatura de los alrededores como para la velocidad del viento (Tabla 8).

Figura 48. Anemómetro
Fuente: El Autor

Tabla 8. Mediciones de velocidad del viento y temperatura ambiental

Fecha:	martes, 09 de junio de 2020	
Tiempo (h)	Temperatura ambiente (°C)	Velocidad del viento (m/s)
11:00	20,1	0,2
11:10	20	0,1
11:20	22,2	0,2
11:30	21,5	0,3

[13] Es la autoridad reconocida en el desarrollo de estándares para denominación de compuestos químicos, mediante su Comité Inter divisional de Nomenclatura y Símbolos.

Continuación de la tabla 8

11:40	21	0,2
11:50	22,5	0,5
12:00	21	0,2
12:10	23,2	0,4
12:20	21,2	0,2
12:30	22,5	0,3
12:40	23,2	0,5
12:50	22,5	0,4
13:00	23,4	0,5
13:10	22	0,3
13:20	21,2	0,2
13:30	22	0,1
13:40	21,4	0,1
13:50	21,9	0,3
14:00	21,5	0,2
14:10	21,8	0,2
14:20	22,2	0,1
14:30	23,1	0,5
14:40	22,1	0,3
14:50	21,7	0,2
15:00	22,5	0,4
PROMEDIO	**21,91**	**0,28**

Fuente: El autor

d. Coeficiente de convección

Para el cálculo del coeficiente de convección se tiene en cuenta las siguientes consideraciones:

- Toda la superficie de la aleta se encuentra a la temperatura de la base.
- Las propiedades del aire se toman a la temperatura promedio.
- El coeficiente de convección es constante sobre toda la superficie.

Aletas longitudinales. – Las propiedades del aire a la temperatura promedio (ANEXO 5) son:

$$T_{prom} = \frac{T_s + T_\infty}{2} = \frac{36{,}04 + 22}{2} = 29{,}2^oC = 302{,}35\ K$$

$$\rho_{aire} = 1{,}167 \frac{kg}{m^3};\ \mu_{aire} = 1{,}868 * 10^{-5}\ \frac{kg}{m \cdot s};\ \vartheta_{aire} = 1{,}60 * 10^{-5}\ \frac{m^2}{s};$$

$$k_{aire} = 25{,}82 * 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}; Pr = 0{,}728$$

El procedimiento utilizado para el cálculo del coeficiente de convección en arreglos de aletas longitudinales es el planteado en el libro (Cengel & Ghajar, 2011), para aletas en disposición vertical.

Numero de Rayleigh considerando el espaciamiento "S" entre aletas

$$Ra_S = \frac{g * \beta * (T_s - T_\infty) * S^3}{\vartheta_{aire}^2} * Pr \qquad \textit{Ecuación (84)}$$

$$Ra_S = \frac{9{,}81 * \frac{1}{302{,}35} * (36{,}04 - 22) * 0{,}012^3}{(1{,}60 * 10^{-5})^2} * 0{,}728 = 2238{,}52$$

La relación recomendada para el número promedio de Nusselt en placas planas verticales es:

$$Nu = \frac{h * S}{k_{aire}} = \left[\frac{576}{(Ra_S * S/b)^2} + \frac{2{,}873}{(Ra_S * S/b)^{0{,}5}}\right]^{-0{,}5} \qquad \textit{Ecuación (85)}$$

$$Nu = \left[\frac{576}{\left(2238{,}52 * \frac{0{,}012}{0{,}1}\right)^2} + \frac{2{,}873}{\left(2238{,}52 * \frac{0{,}012}{0{,}1}\right)^{0{,}5}}\right]^{-0{,}5}$$

$$Nu = 2{,}34$$

Entonces el coeficiente de convección "h" es:

$$h = Nu * \frac{k_{aire}}{S} = 2{,}34 * \frac{25{,}82 * 10^{-3}}{0{,}012} = 5{,}03$$

El coeficiente de radiación tomando en consideración la emisividad promedio de la pintura color aluminio (Tabla 2) es:

$$hr = \epsilon * \sigma * (T_s + T_\infty) * \left({T_s}^2 + {T_\infty}^2\right) \qquad \textit{Ecuación (86)}$$

$$hr = 0{,}47(5{,}67 * 10^{-8})(309{,}19 + 295{,}15)(309{,}19^2 + 295{,}15^2)$$

$$hr = 2{,}94 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Coeficiente total

$$h_T = h + hr = 5{,}03 + 2{,}94 = 7{,}97 \backsimeq \mathbf{8} \frac{\boldsymbol{W}}{\boldsymbol{m^2 \cdot K}}$$

Aletas tipo aguja. – Las propiedades del aire a la temperatura promedio (ANEXO 5) son:

$$T_{prom} = \frac{T_s + T_\infty}{2} = \frac{46{,}04 + 22}{2} = 34{,}02°C = 307{,}17\ K$$

$$\rho_{aire} = 1{,}148\frac{kg}{m^3};\ \mu_{aire} = 1{,}89 * 10^{-5}\ \frac{kg}{m \cdot s};\ \vartheta_{aire} = 1{,}645 * 10^{-5}\ \frac{m^2}{s};$$

$$k_{aire} = 26{,}17 * 10^{-3}\frac{W}{m \cdot K}; Pr = 0{,}727$$

Como se puede observar en las gráficas 46 y 47 se seleccionó la configuración alineada por lo cual se puede seguir el procedimiento planteado en el libro (KRAUS, AZIZ, & WELTY, 2001), para el cálculo del coeficiente total:

$$V_{max} = \frac{S_T}{S_T - Sb} * V_{aire} = \frac{0{,}0156}{0{,}0156 - 0{,}0125} * 0{,}28 = 1{,}41\ m/s \qquad \textit{Ecuación (87)}$$

$$Red_{max} = \frac{\rho * V_{max} * Sb}{\mu} = \frac{1{,}148 * 1{,}41 * 0{,}0125}{1{,}89 * 10^{-5}} = 1069{,}82 \qquad \textit{Ecuación (88)}$$

Dado que

$1000 < Red_{max} < 2 * 10^6$
$0{,}7 < Pr < 500$

Se utiliza la correlación de Zhukauskas para flujo a través de un banco de tubos

$$Nu_d = C * Red_{max}^m * Pr^{0{,}36} * \left(\frac{Pr}{Pr_s}\right)^{1/4} \qquad \textit{Ecuación (89)}$$

$$\left(\frac{ST}{SL} = 1\right) > 0{,}7$$

Según la tabla del ANEXO 6 para una configuración alineada, los valores de C y m toman un valor de 0,27 y 0,63 respectivamente.

Donde Pr_s se toma a la temperatura en la que se encuentra la superficie de las aletas

$$Nu_d = 0{,}27 * 1069{,}82^{0{,}63} * 0{,}727^{0{,}36} * \left(\frac{0{,}727}{0{,}7238}\right)^{\frac{1}{4}} = 19{,}51$$

Dado que N_L (Número de aletas en la dirección horizontal-Figura 49) es menor a 20, se requiere un factor de corrección $C_2 = 0{,}86$ (ANEXO 6)

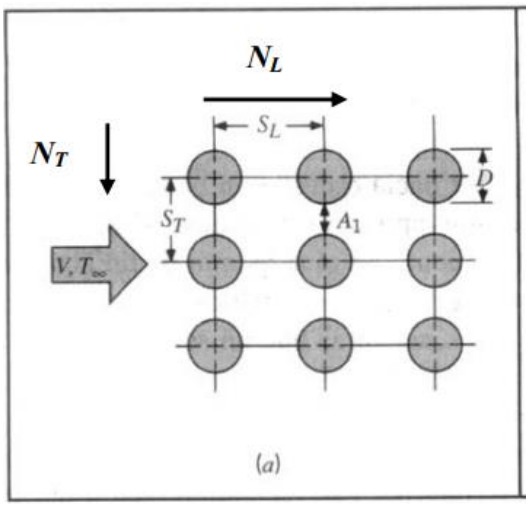


Figura 49. Disposición alineada para el arreglo de aletas tipo aguja
Fuente: (Ramos, 2007)

$$Nu_{d1} = C_2 * Nu_d = 0{,}86 * 19{,}51 = 16{,}78 \qquad \textit{Ecuación (90)}$$

Entonces el coeficiente de convección es

$$h = Nu_{d1} * \frac{k_{aire}}{Sb} = 16{,}78 * \frac{0{,}02617}{0{,}0125} = 35{,}13 \ \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

El coeficiente de radiación tomando en consideración la emisividad promedio de la pintura color aluminio (Tabla 2) es:

$$hr = 0{,}47(5{,}67 * 10^{-8})(319{,}19 + 295{,}15)(319{,}19^2 + 295{,}15^2)$$

$$hr = 3{,}094 \ \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Coeficiente total

$$h_T = h + hr = 35{,}13 + 3{,}094 = \mathbf{38{,}22} \ \boldsymbol{\frac{W}{m^2 \cdot K}}$$

e. Potencia y eficiencia de cada estructura

La conductancia térmica por contacto entre hierro-hierro se determinó analíticamente en el ANEXO 7. Para los arreglos de aleta tipo aguja (Acabado superficial esmerilado) la conductancia térmica por contacto promedio es igual a $622{,}6 \ \frac{W}{m^{2\circ}C}$ y para el arreglo de aletas longitudinal de perfil rectangular (Acabado superficial sin esmerilar) es igual a $150{,}37 \ \frac{W}{m^{2\circ}C}$.

Según los parámetros calculados y establecidos para el diseño del módulo DAQ se tiene los siguientes datos de entrada:

Aleta longitudinal. –

Tabla 9. Datos de entrada para el análisis de aletas longitudinales

Datos:	
Área de la superficie	
Largo "L" en (m):	0,1
Ancho "w" en (m):	0,1
Espesor "t1" en (m):	0,007
Cond_térmica "k1" en (W/m°C):	79,5
Arreglo de aletas	
Ancho "w2" en (m):	0,1
Espaciamiento entre aletas "S" en (m):	0,012
N° de aletas	8
Longitud "b" en (m):	0,1
Espesor "t2" en (m):	0,002
Cond_térmica "k2" en (W/m°C):	79,5
Espesor base "Sb" en (m):	0,002
Datos adicionales	
hext (W/m^2°C):	8
Tint (°C):	46
T∞(°C):	22
hc 1-2 (W/m^2°C):	150,37

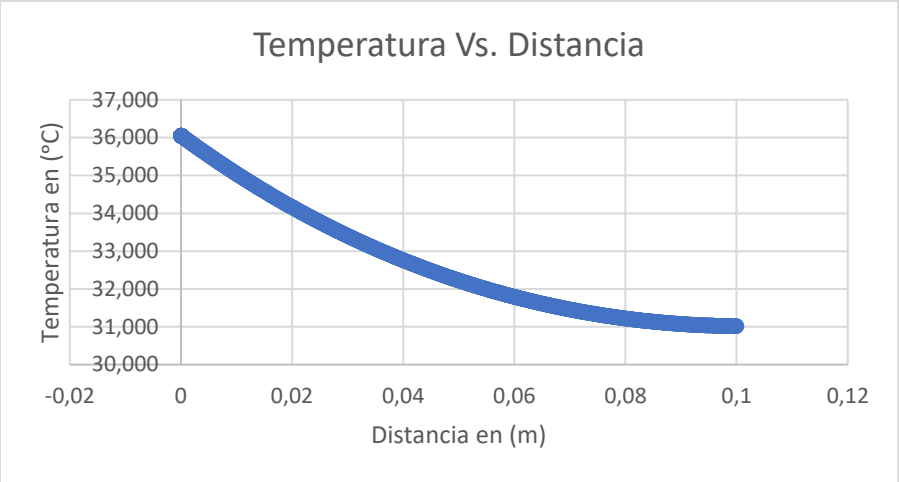
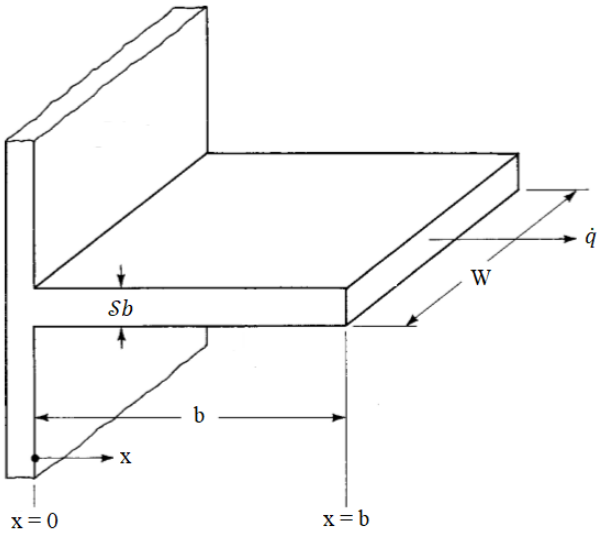
Fuente: El autor

Con los cuales se obtuvo los siguientes resultados en el software desarrollado en Microsoft Excel®:

Tabla 10. Resultados obtenidos para el arreglo de aletas longitudinales de perfil rectangular

Aletas longitudinales de perfil rectangular	
COMPROBACIÓN DEL MÉTODO UTILIZADO (Longitud corregida)	**Método Válido**
Eficiencia global del arreglo:	0,7691
Flujo de calor total CONSIDERANDO el arreglo de aletas (W):	14,70
Temperatura en la base (°C):	36,06
Temperatura en la punta (°C):	31,02
Efectividad:	7,66

Continuación de la tabla 10

Distribución de temperatura sobre una aleta



Fuente: El autor

Aletas tipo aguja. –

Tabla 11. Datos de entrada para el análisis de aletas tipo aguja

Datos:	
Área de la superficie	
Largo "L" en (m):	0,1
Ancho "w" en (m):	0,1
Espesor "t1" en (m):	0,007
Cond_térmica "k1" en (W/m°C):	79,5
Arreglo de aletas	
Ancho "w2" en (m):	0,1
Espaciamiento entre aletas "Sx" en (m):	0,0156

Continuación de la tabla 11

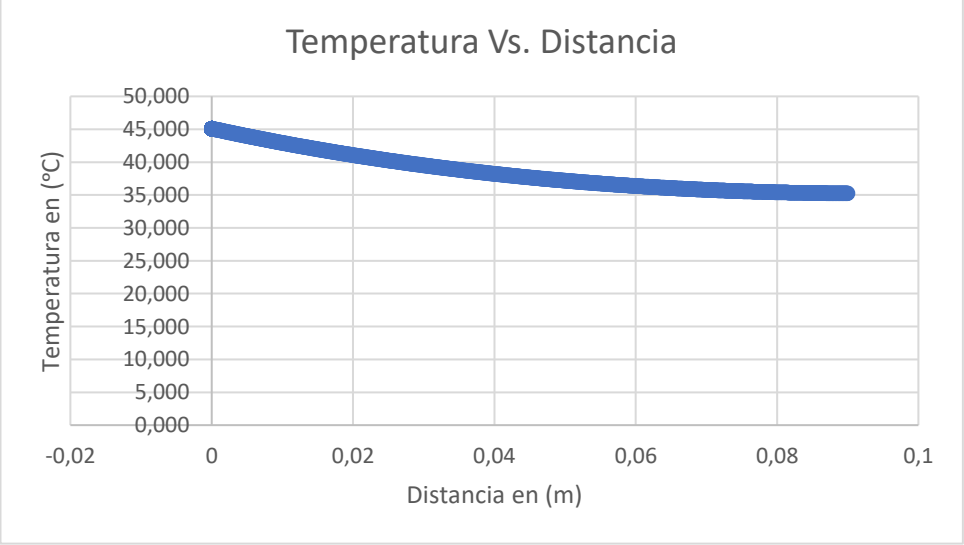
Espaciamiento entre aletas "Sy" en (m):	0,0156
Longitud "b" en (m):	0,09
Espesor "t2" en (m):	0,002
Cond_térmica "k2" en (W/m°C):	79,5
Espesor base "Sb" en (m):	0,0125
Datos adicionales	
hext (W/m^2°C):	38,22
Tint (°C):	50
T∞(°C):	22
hc 1-2 (W/m^2°C):	622,6

Fuente: El autor

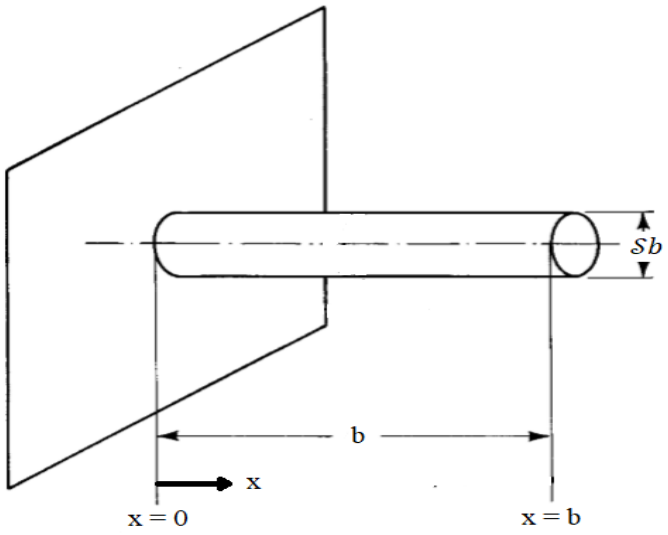
Con los cuales se obtuvo los siguientes resultados en el software desarrollado en Microsoft Excel®:

Tabla 12. Resultados obtenidos para el arreglo de aletas tipo aguja cilíndrica

Aletas de aguja cilíndrica	
COMPROBACIÓN DEL MÉTODO UTILIZADO (Longitud corregida)	**Método Válido**
Eficiencia global del arreglo:	0,7712
Flujo de calor total CONSIDERANDO el arreglo de aletas (W):	28,47
Temperatura en la base (°C):	45,10
Temperatura en la punta (°C):	35,25
Efectividad:	2,67
Distribución de temperatura sobre una aleta	



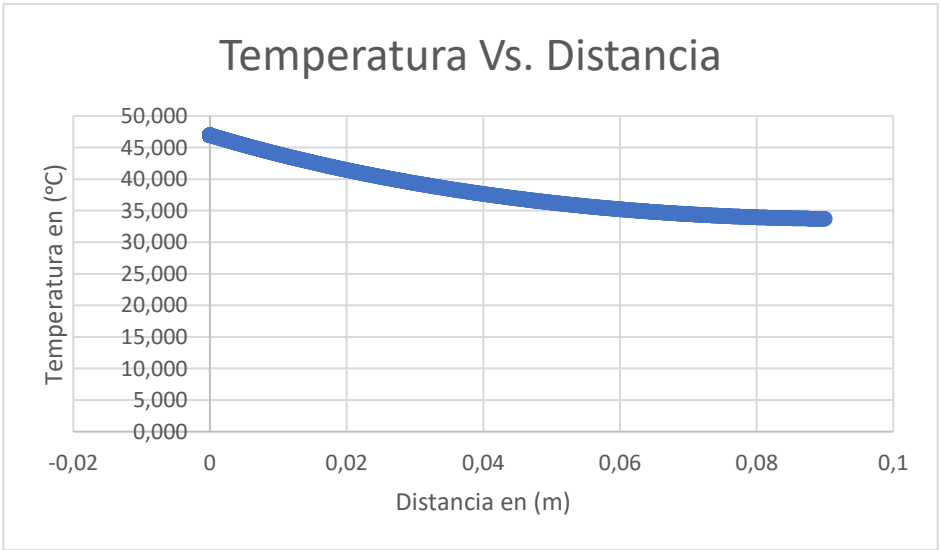
Continuación de la tabla 12



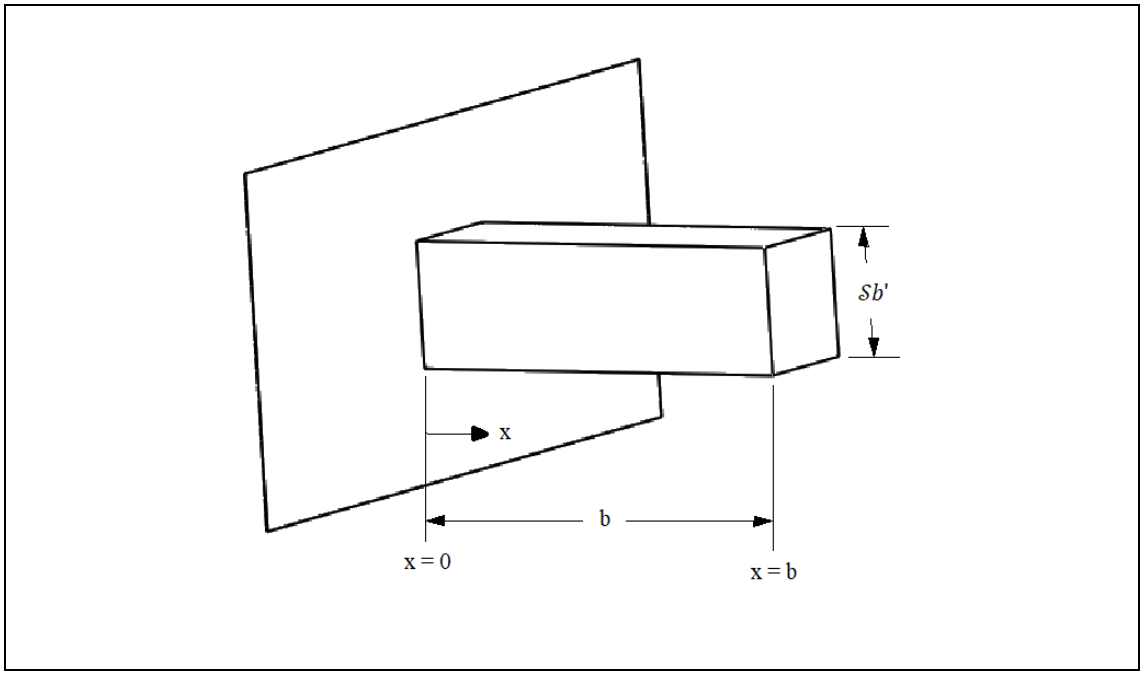
Fuente. El autor

Tabla 13. Resultados obtenidos para el arreglo de aletas tipo aguja cuadrada

Aletas de aguja cuadrada	
COMPROBACIÓN DEL MÉTODO UTILIZADO (Longitud corregida)	**Método Válido**
Eficiencia global del arreglo:	0,7743
Flujo de calor total CONSIDERANDO el arreglo de aletas (W):	17,93
Temperatura en la base (°C):	46,92
Temperatura en la punta (°C):	33,68
Efectividad:	1,68
Distribución de temperatura sobre una aleta	



Continuación de la tabla 13



Fuente: El autor

6.4.4. Regulador de voltaje AC

El circuito construido es el planteado por (Terrazocultor, 2014)**,** en la Figura 50 se puede observar el diagrama unifilar del mismo.

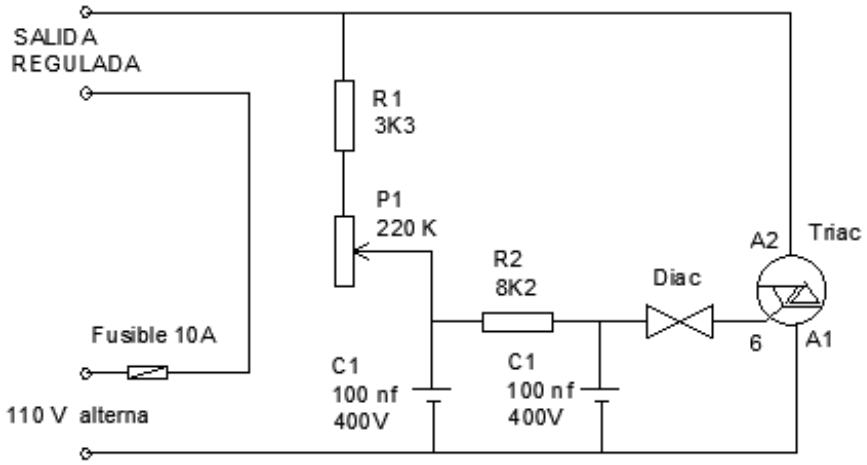


Figura 50. Diagrama unifilar del regulador de voltaje AC
Fuente: El Autor

Características:

- Tensión de entrada: 110/240 V
- Tensión regulada: 0- Tensión de entrada
- Potencia máxima: 3800 W
- Intensidad máxima: 10 A
- Triac utilizado: BT139

6.4.5. Sistema DAQ

6.4.5.1. Selección del sensor de temperatura

Siguiendo la metodología planteada se utiliza una tabla comparativa entre las ventajas y desventajas de cada tipo de termocupla:

Tabla 14. Ventajas y desventajas de diferentes tipos de termocuplas

Termocuplas		
Tipo	**Ventajas**	**Desventajas**
B	Presenta una mayor estabilidad y resistencia mecánica, su rango de temperatura esta hasta los 1700ºC, es útil en atmosferas inertes u oxidantes.	No es adecuada en atmosferas reductoras (como hidrogeno o monóxido de carbono).
R	Son útiles para el uso constante en atmosferas oxidantes o inertes hasta 1400ºC.	No es apta en atmosferas reductoras, ni en aquellas que contienen vapores metálicos, u oxidantes.
S	Útiles en atmosferas oxidantes o inertes y en vacío hasta 760ºC.	Poseen las mismas limitaciones que la termocupla tipo R y tipo B, en vació pueden ser menos estables que el tipo B.
T	De uso adecuado en atmosferas en vació y oxidantes reductoras e inertes, su límite máximo de temperatura es de 370ºC para un diámetro de 3,25 mm, es adecuada para mediciones bajo cero.	Difíciles de encontrar
E	Su desempeño es satisfactorio en atmosferas oxidantes e inertes, y resultan particularmente adecuadas en atmosferas húmedas, son convenientes a temperaturas bajo cero.	Difíciles de encontrar.

Continuación de la tabla 14

J	Es conocida como la termocupla hierro Constantán, es la segunda más utilizada, útiles en usos continuos en atmosferas oxidantes, reductoras e inertes, hasta una temperatura de 760ºC.	Su uso no es recomendable en atmosferas sulfurosas, bajo temperaturas menores a los 0ºC, no es recomendable para valores por encima de los 760ºC.
K	Esta termocupla es la más utilizada en la industria, debido a su mayor capacidad de resistir más altas temperaturas. Las termocuplas tipo K pueden utilizarse de forma continua en ambientes oxidantes e inertes hasta 1260ºC y es fácil de encontrar en el mercado	Necesitan ser calibradas para procesos de automatización.

Fuente: (Almachi & Pilliza, 2013)

Se selecciona la termocupla tipo K debido a las ventajas que posee y a su fácil accesibilidad que presenta en el mercado.

6.4.5.2. Selección de la tarjeta de adquisición de datos

Las tarjetas Arduino disponibles en la localidad son: Arduino Mega 2560, Arduino Uno y Arduino Micro, para las cuales se realiza una tabla comparativa con el fin de seleccionar la más adecuada:

Tabla 15. Características técnicas de diferentes tarjetas Arduino

Items	**Arduino Uno**	**Arduino Mega 2560**	**Arduino Micro**
Dimensión	2,7 in x 2,1 in	4 in x 2,1 in	0,7 in x 1,9 in
Procesador	Atmega328P	ATmega2560	ATmega3204
Velocidad de reloj	16MHz	16MHz	16MHz
Memoria flash (kB)	32	256	32
EEPROM (kB)	1	4	1
SRAM (kB)	2	8	2,5
Nivel de voltaje	5 V	5 V	5 V
Pines digitales E/S	14	54	20
Pines digitales E/S con PWM	6	15	7
Pines análogos	6	16	12
Conectividad USB	Cable USB A/B estándar	Cable USB A/B estándar	Cable micro USB

Fuente: El autor

Se selecciona la tarjeta Arduino Mega 2560 (Figura 51) debido a que cuenta con el número de pines digitales más elevado.

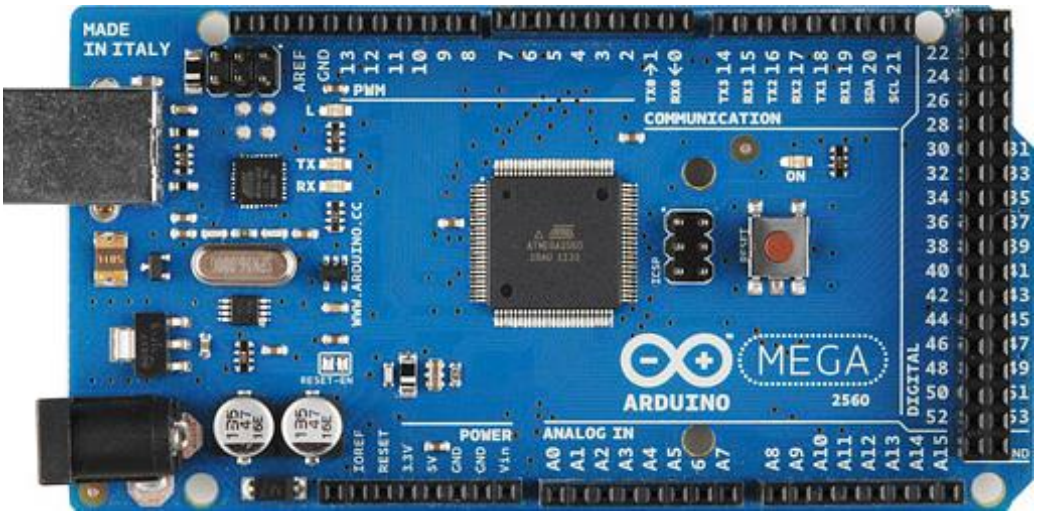


Figura 51. Tarjeta Arduino Mega 2560
Fuente: El Autor

6.4.5.3. Circuito integrado amplificador

La selección del amplificador operacional está relacionada con el tipo de termocupla. Para la termocupla tipo K el circuito integrado de amplificación es el MAX6675 mostrado en la Figura 52. Sus características técnicas se encuentran detalladas en el ANEXO 8.

La eficacia del sistema de medida de temperatura basado en termopar, le acompaña la necesidad de resolver tres cuestiones para poder ser explotado: ① capacidad de gestionar tensiones muy bajas (del orden de µV) o amplificar la respuesta del termopar para que un microcontrolador pueda trabajar con ella, ② corrección de la medida de la sonda para equipararla a una distribución lineal (linealización de la respuesta del termopar) y ③ compensación de unión fría para corregir la dependencia que existe entre la temperatura medida por la sonda y la temperatura ambiente. EL MAX6675 sirve para resolver de manera sencilla estos tres aspectos.

.

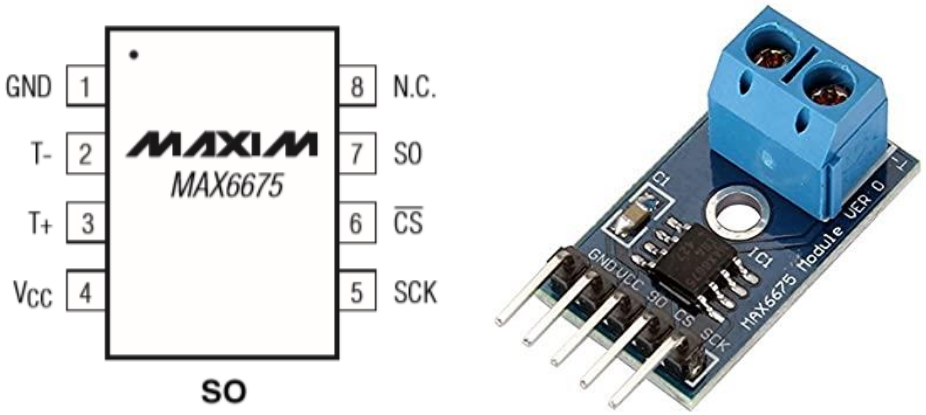


Figura 52. MAX6675-Amplificador operacional para la termocupla tipo K
Fuente: El Autor

El tiempo de conversión de la temperatura del MAX6675 oscila entre los 170 ms y los 220 ms, como no hay forma de saber cuándo ha terminado la conversión y se puede solicitar la lectura del valor de la temperatura, lo habitual es dejar un tiempo algo superior al máximo, un cuarto de segundo (250 ms) es un valor suficientemente seguro y sencillo de recordar.

6.4.5.4. Conexión de las termocuplas a la tarjeta Arduino Mega 2560

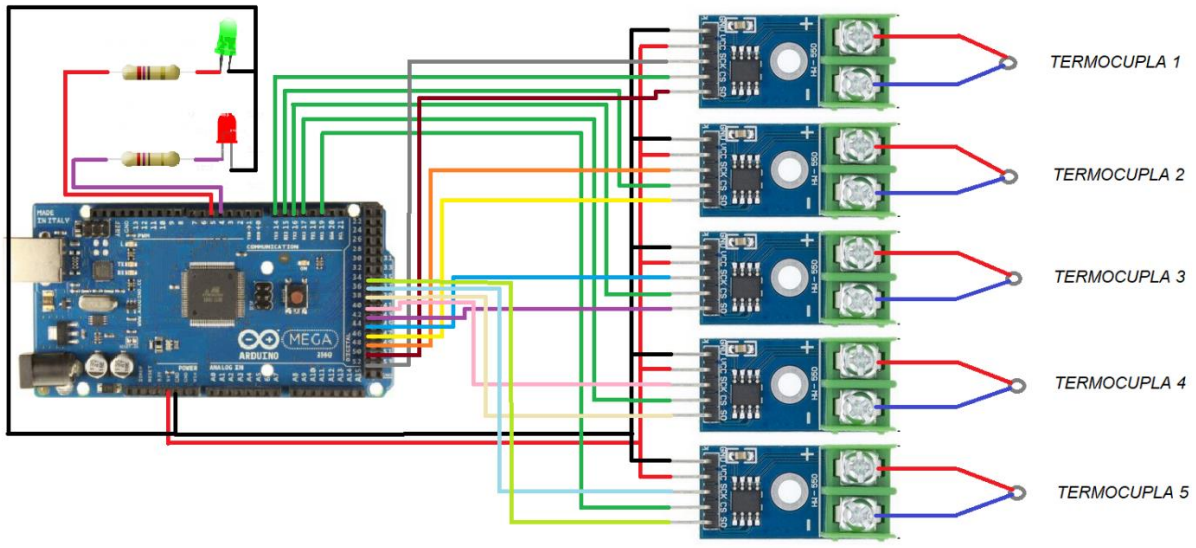


Figura 53. Conexión de las termocuplas
Fuente: El Autor

6.4.5.5. Programación en IDE de Arduino® y LabVIEW®

La programación con sus respectivos comentarios se encuentra detallados en el ANEXO 9. A continuación en las Figuras 54,55 y 56, se muestra parte de la programación tanto en LabVIEW® como en IDE de Arduino®:

Figura 54. Parte de la programación del panel frontal
Fuente: El Autor

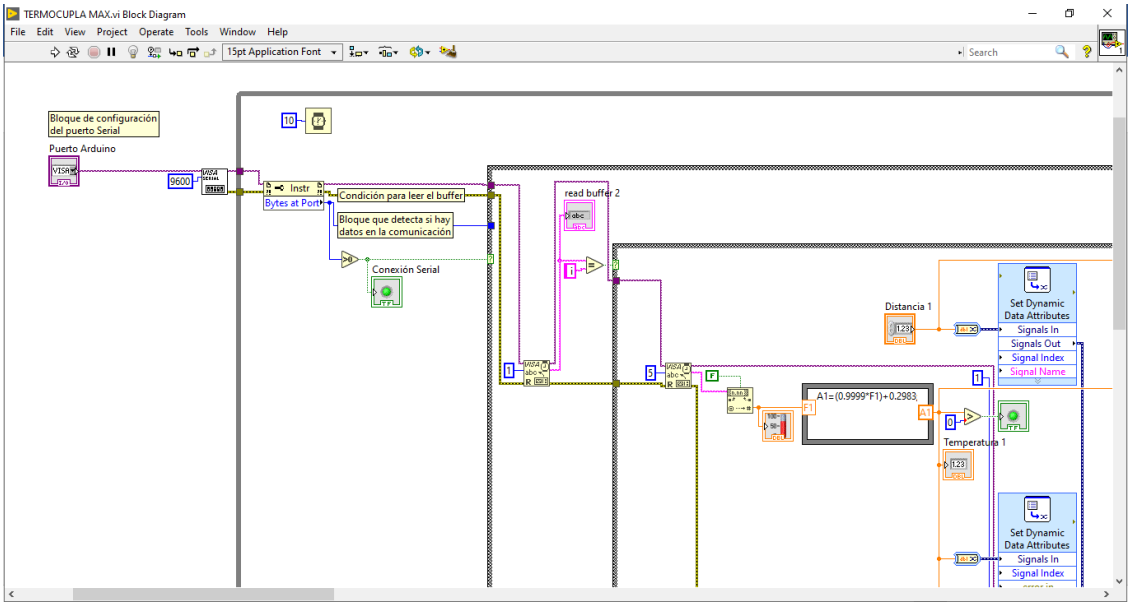


Figura 55. Parte de la programación del panel de bloques
Fuente: El Autor

MEGA_MAXX6675 Arduino 1.8.12

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

MEGA_MAXX6675

```
#include "max6675.h"

int thermoDO1 = 50;        //define serial output pin
int thermoCLK1 = 52;       //define system clock pin

int thermoDO2 = 46;        //define serial output pin
int thermoCLK2 = 48;       //define system clock pin

int thermoDO3 = 44;        //define serial output pin
int thermoCLK3 = 42;       //define system clock pin

int thermoDO4 = 38;        //define serial output pin
int thermoCLK4 = 40;       //define system clock pin

int thermoDO5 = 34;        //define serial output pin
int thermoCLK5 = 36;       //define system clock pin

int thermoCS1 = 51;       //define chip select pins
int thermoCS2 = 47;
int thermoCS3 = 43;
int thermoCS4 = 39;
int thermoCS5 = 35;

MAX6675 thermocouple1(thermoCLK1, thermoCS1, thermoDO1);     //define MAX functions
MAX6675 thermocouple2(thermoCLK2, thermoCS2, thermoDO2);
MAX6675 thermocouple3(thermoCLK3, thermoCS3, thermoDO3);
MAX6675 thermocouple4(thermoCLK4, thermoCS4, thermoDO4);
MAX6675 thermocouple5(thermoCLK5, thermoCS5, thermoDO5);
```

Figura 56. Parte de la programación en IDE de Arduino
Fuente: El Autor

Con todo lo expuesto anteriormente, se ensamblo el módulo DAQ (Figura 57) y se obtuvo el equipo de superficies extendidas totalmente operativo.

Figura 57. Módulo de adquisición de datos de temperatura para superficies extendidas
Fuente: El Autor

PRUEBAS Y ANÁLSIS DE RESULTADOS

El módulo DAQ construido permite el análisis de la distribución de temperatura a lo largo de superficies extendidas elaboradas de distinto material o de diferente geometría.

Como ya se mencionó anteriormente se han construido tres tipos de arreglos de aletas: aletas tipo aguja (cilíndrica, cuadrada) y aletas longitudinales (perfil rectangular). Mediante las pruebas se observa como varia la temperatura a lo largo de las aletas, así como también permite observar cómo influye la transferencia de energía calorífica en diferentes tipos de aletas.

Calibración de las termocuplas. - Esta calibración se la realiza con el fin de determinar si las mediciones realizadas son correctas, por lo cual con la ayuda de un instrumento externo (Figura 58), se obtiene un factor de acondicionamiento que es implantado en la programación de LabVIEW®2018.

Figura 58. Multímetro digital (Termopar tipo K)
Fuente: El Autor

Utilizando las diversas herramientas que proporciona Microsoft Excel®2019 se procede a realizar una comparación entre los datos obtenidos con las termocuplas y el instrumento externo, dicha comparación permite obtener una ecuación, la misma que sería el factor de acondicionamiento. A

continuación, se pueden observar las mediciones realizadas, así como también las gráficas obtenidas para cada termocupla.

Tabla 16. Mediciones obtenidas para la termocupla de la fuente de calor

Evento	Multímetro (°C)	Fuente de calor (señal sin calibración) (°C)	Error (%)	Fuente de calor (señal calibrada) (°C)	Error (%)
1	26	27	3,85%	26	0,00%
2	30	31	3,33%	30	0,00%
3	35	36	2,86%	35	0,00%
4	40	41	2,50%	40	0,00%
5	45	46	2,22%	45	0,00%
6	50	51	2,00%	50	0,00%
7	55	56	1,82%	55	0,00%
8	60	61	1,67%	60	0,00%
9	65	66	1,54%	65	0,00%
10	70	71	1,43%	70	0,00%
11	75	76	1,33%	75	0,00%
12	80	81	1,25%	80	0,00%

Fuente: El autor

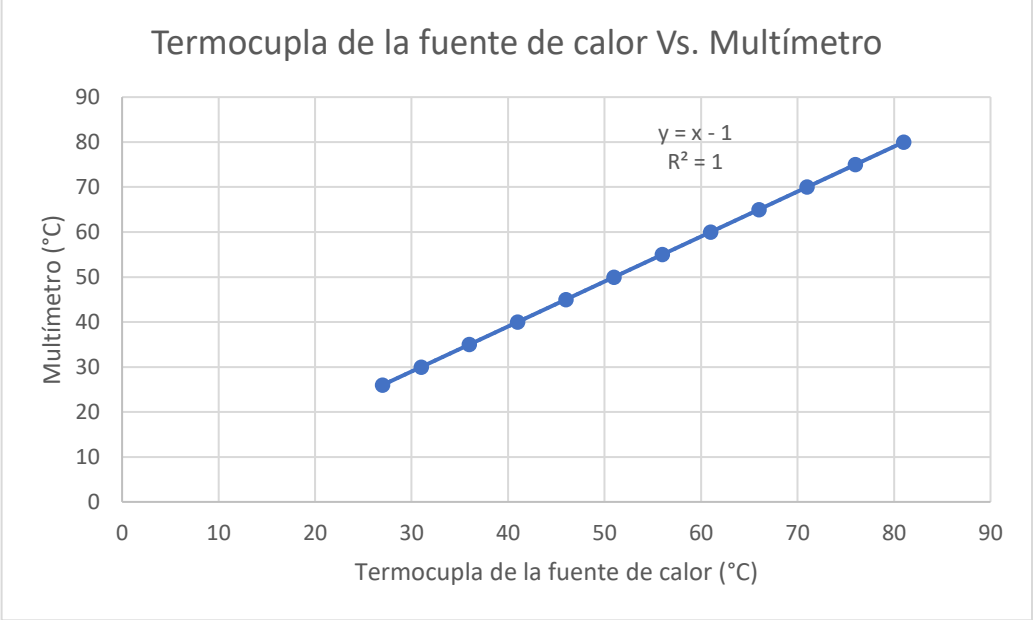


Figura 59. Mediciones realizadas entre la termocupla de la fuente de calor y el multímetro
Fuente: El Autor

Tabla 17. Mediciones obtenidas para la termocupla 1

Evento	Multímetro (°C)	Termocupla_1 (señal sin calibración) (°C)	Error (%)	Termocupla_1 (señal calibrada) (°C)	Error (%)
1	27	26,75	0,93%	27,045625	0,17%
2	30	30	0,00%	30,2953	0,98%
3	35	34,75	0,71%	35,044825	0,13%
4	40	39,5	1,25%	39,79435	0,51%
5	45	44,5	1,11%	44,79385	0,46%
6	50	49,75	0,50%	50,043325	0,09%
7	55	54,75	0,45%	55,042825	0,08%
8	60	59,5	0,83%	59,79235	0,35%
9	65	64,75	0,38%	65,041825	0,06%
10	70	69,5	0,71%	69,79135	0,30%
11	75	74,75	0,33%	75,040825	0,05%
12	80	80	0,00%	80,2903	0,36%

Fuente: El autor

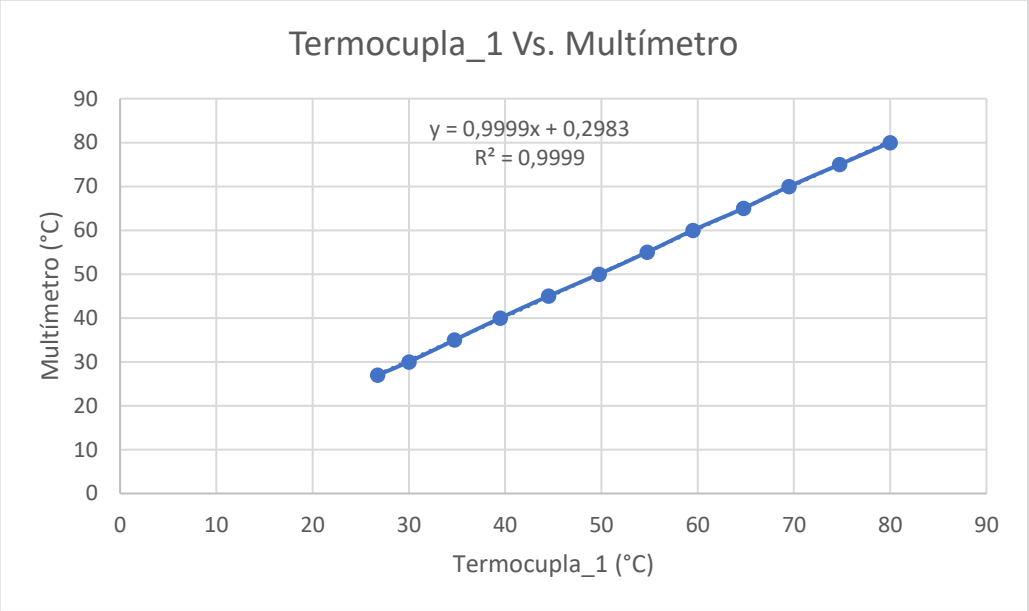


Figura 60. Mediciones realizadas entre la termocupla 1 y el multímetro
Fuente: El Autor

Tabla 18. Mediciones obtenidas para la termocupla 2

Evento	Multímetro (°C)	Termocupla_2 (señal sin calibración) (°C)	Error (%)	Termocupla_2 (señal calibrada) (°C)	Error (%)
1	26	25,75	0,96%	26,00	0,01%
2	30	29,5	1,67%	29,73	0,89%
3	35	34,75	0,71%	34,96	0,11%
4	40	39,75	0,63%	39,94	0,14%
5	45	45	0,00%	45,17	0,39%
6	50	50	0,00%	50,15	0,31%
7	55	55,25	0,45%	55,38	0,70%
8	60	60	0,00%	60,12	0,19%
9	65	64,75	0,38%	64,85	0,23%
10	70	69,75	0,36%	69,83	0,24%
11	75	74,75	0,33%	74,81	0,25%
12	80	80	0,00%	80,04	0,05%

Fuente: Autor

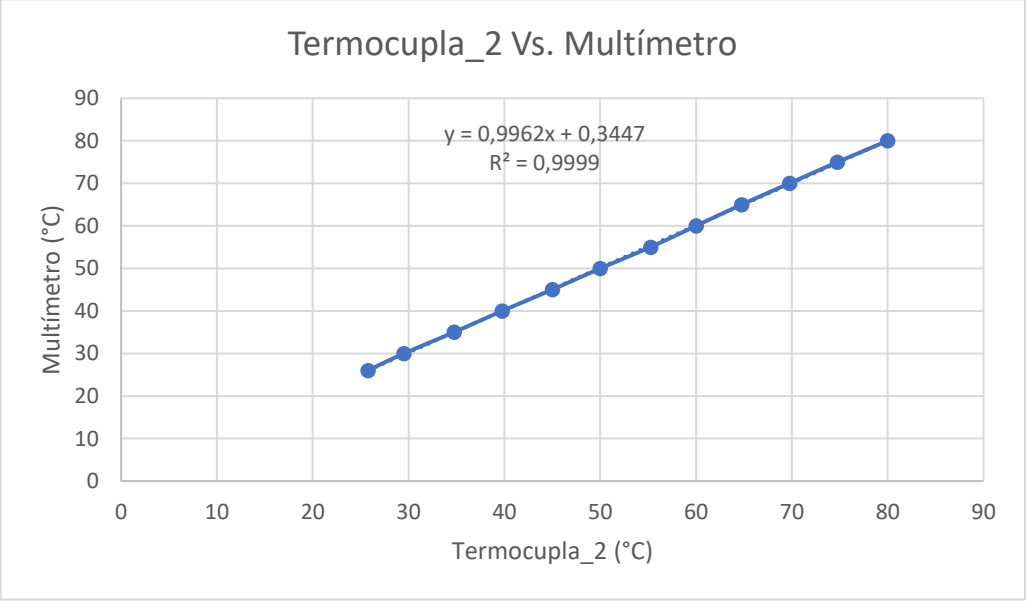


Figura 61. Mediciones realizadas entre la termocupla 2 y el multímetro
Fuente: El Autor

Tabla 19. Mediciones obtenidas para la termocupla 3

Evento	Multímetro (°C)	Termocupla_3 (señal sin calibración) (°C)	Error (%)	Termocupla_3 (señal calibrada) (°C)	Error (%)
1	27	27,25	0,93%	26,994775	0,02%
2	30	30,25	0,83%	29,995675	0,01%
3	35	35,25	0,71%	34,997175	0,01%
4	40	40	0,00%	39,7486	0,63%
5	45	45,25	0,56%	45,000175	0,00%
6	50	50,5	1,00%	50,25175	0,50%
7	55	55,25	0,45%	55,003175	0,01%
8	60	60,5	0,83%	60,25475	0,42%
9	65	65	0,00%	64,7561	0,38%
10	70	70,5	0,71%	70,25775	0,37%
11	75	75,25	0,33%	75,009175	0,01%
12	80	80	0,00%	79,7606	0,30%

Fuente: El autor

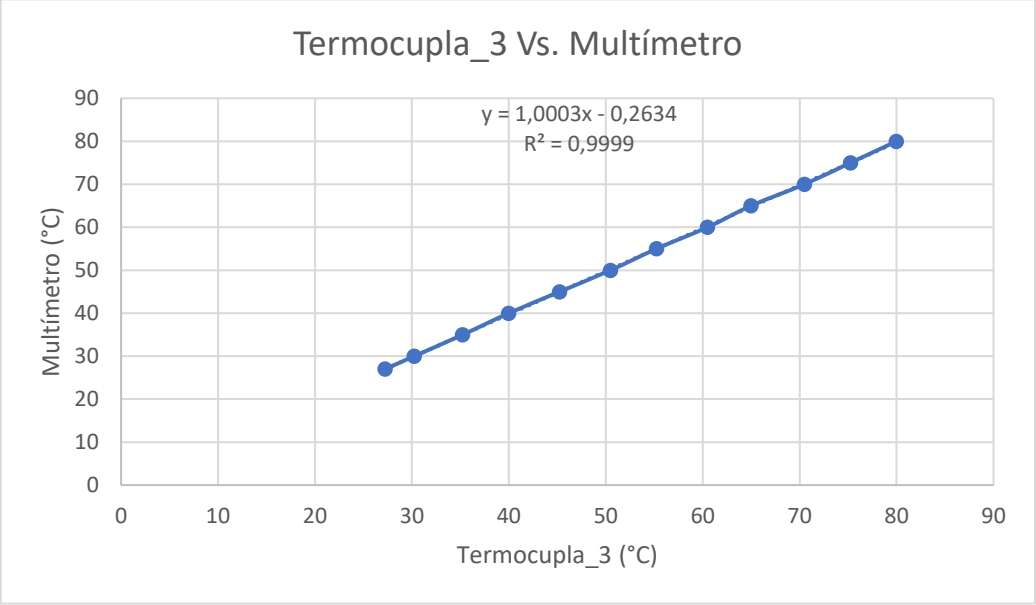


Figura 62. Mediciones realizadas entre la termocupla 3 y el multímetro
Fuente: El Autor

Tabla 20. Mediciones obtenidas para la termocupla 4

Evento	Multímetro (°C)	Termocupla_4 (señal sin calibración) (°C)	Error (%)	Termocupla_4 (señal calibrada) (°C)	Error (%)
1	25	24,5	2,00%	25,32395	1,30%
2	30	29,25	2,50%	30,068725	0,23%
3	35	34	2,86%	34,8135	0,53%
4	40	39,25	1,88%	40,057725	0,14%
5	45	44	2,22%	44,8025	0,44%
6	50	49	2,00%	49,797	0,41%
7	55	54	1,82%	54,7915	0,38%
8	60	59,25	1,25%	60,035725	0,06%
9	65	64,25	1,15%	65,030225	0,05%
10	70	69,5	0,71%	70,27445	0,39%
11	75	74,25	1,00%	75,019225	0,03%
12	80	79,25	0,94%	80,013725	0,02%

Fuente: El autor

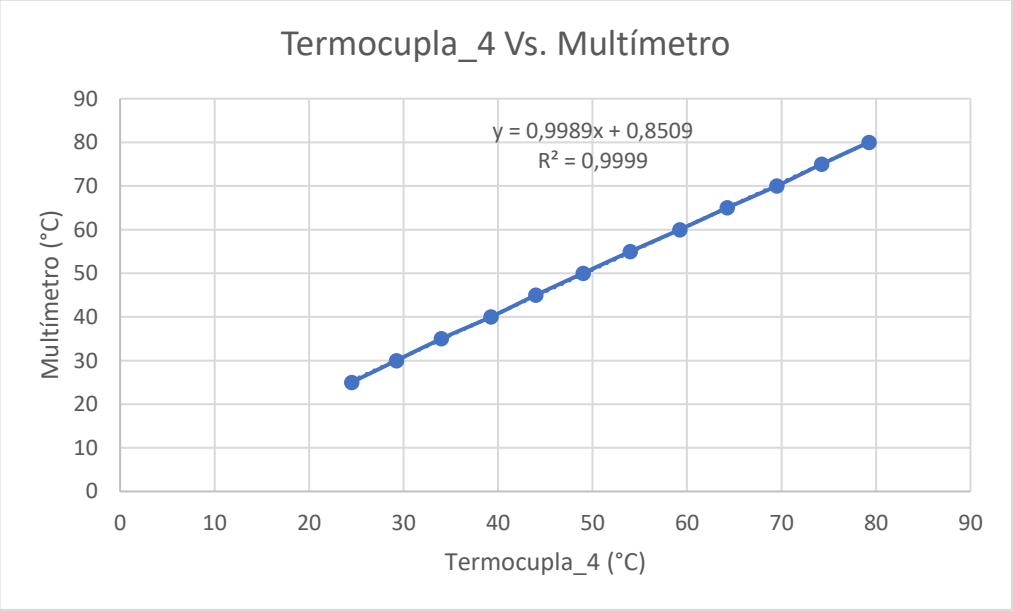


Figura 63. Mediciones realizadas entre la termocupla 4 y el multímetro
Fuente: El Autor

Como se puede observar el porcentaje de error entre el instrumento externo y las termocuplas es pequeño, sin embargo, se obtiene la ecuación para cada una de las termocuplas con el fin de reducir aún más ese porcentaje de error.

Mediciones obtenidas

Superficie extendida longitudinal de perfil rectangular

Tiempo de estabilización: 40 min

En la tabla 21 se muestra los datos obtenidos para la superficie extendida longitudinal de perfil rectangular

Tabla 21. Datos obtenidos para el arreglo de aletas longitudinal de perfil rectangular

SUPERFICIE EXTENDIDA LONGITUDINAL DE PERFIL RECTANGULAR					
TEMPERATURA DE LA FUENTE DE CALOR (°C)				46	
DATOS TEÓRICOS		**DATOS SIMULADOS**		**DATOS EXPERIMENTALES**	
L(m)	T(°C)	L(m)	T(°C)	L(m)	T(°C)
0,0000	36,06	0,0000	35,769	0,0000	36,04
0,0333	33,18	0,0333	32,9566573	0,0333	34,21
0,0666	31,56	0,0666	31,3021732	0,0666	32,50
0,1000	31,02	0,1000	30,8058	0,1000	31,32

Fuente: El autor

Tabla 22. Porcentaje de error entre los datos teóricos y experimentales

DATOS TEÓRICOS	**DATOS EXPERIMENTALES**	**ERROR ABSOLUTO**	**ERROR RELATIVO**
T(K)	**T(K)**		**%**
309,21	309,19	0,02	0,006%
306,33	307,36	1,03	0,34%
304,71	305,65	0,94	0,31%
304,17	304,47	0,30	0,10%

Fuente: El autor

Tabla 23. Porcentaje de error entre los datos simulados y experimentales

DATOS SIMULADOS	**DATOS EXPERIMENTALES**	**ERROR ABSOLUTO**	**ERROR RELATIVO**
T(K)	**T(K)**		**%**
308,92	309,19	0,28	0,09%
306,11	307,36	1,26	0,41%
304,45	305,65	1,19	0,39%
303,96	304,47	0,51	0,17%

Fuente: El autor

Tabla 24. Porcentaje de error entre los datos teóricos y simulados

DATOS TEÓRICOS	DATOS SIMULADOS	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO
T(K)	T(K)		%
309,21	308,92	0,29	0,09%
306,33	306,11	0,22	0,07%
304,71	304,45	0,26	0,08%
304,17	303,96	0,21	0,07%

Fuente: El autor

En la Figura 64 se presenta las curvas de distribución de temperatura a lo largo de la aleta tanto teórica, simulada como experimental

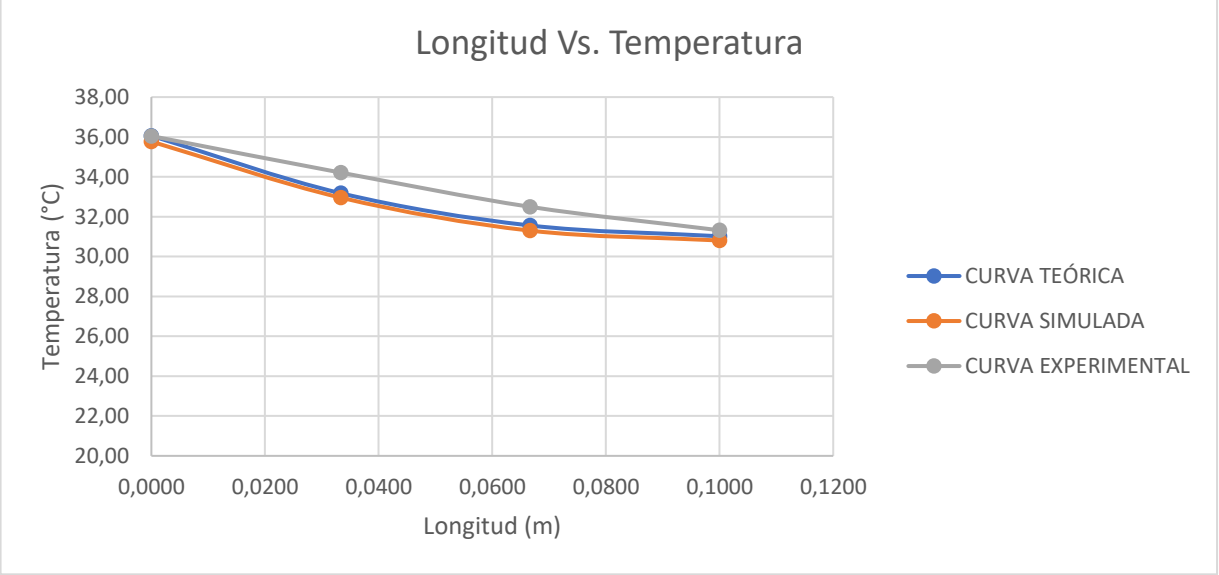


Figura 64. Curvas de distribución de temperatura (Aleta longitudinal de perfil rectangular)
Fuente: El Autor

Análisis de resultados

Los porcentajes de error entre la curva experimental y la curva teórica van desde un mínimo de 0,004% hasta un máximo de 0,34% esto se debe a las diversas consideraciones que se toman al momento de deducir las ecuaciones para estas superficies como:

a. La Conductividad térmica del material permanece constante ya que todo el material se considera homogéneo.
b. El coeficiente de convección es constante y uniforme sobre toda la superficie de la aleta.

c. La temperatura en la base de aleta es constante sobre toda la superficie
d. Se desprecia los gradientes de temperatura a lo largo del espesor, ya que es demasiado pequeño comparado con el ancho.
e. La temperatura del medio circundante es constante.

Los porcentajes de error entre la curva experimental y la curva simulada van desde un mínimo de 0,09% hasta un máximo de 0,41% esto se debe a que el programa SolidWorks® considera que la distribución de temperatura es bidimensional en toda la longitud de la aleta.

Los porcentajes de error entre la curva teórica y la curva simulada van desde un mínimo de 0,07% hasta un máximo de 0,09%, con esto se puede concluir que el programa SolidWorks® también toma algunas consideraciones para simplificar el cálculo en el análisis térmico ya que la curva simulada tiende a seguir la curva teórica.

Utilizando la ecuación de la Tabla 4 para este tipo de superficie da como resultado una eficiencia de:

$$\eta = 76{,}9\ \%$$

Valor que puede ser aceptable, pero no es muy bueno, ya que según (Cengel & Ghajar, 2011) las longitudes de aletas que causan la caída de eficiencia por debajo del 60% suelen no poder justificarse económicamente y deben evitarse. La eficiencia de la mayor parte de las aletas usadas en la práctica está por encima del 90%.

Superficie extendida tipo aguja cilíndrica

Tiempo de estabilización: 60 min

En la tabla 25 se muestra los datos obtenidos para la superficie extendida tipo aguja cilíndrica

Tabla 25. Datos obtenidos para el arreglo de aletas tipo aguja cilíndrica

SUPERFICIE EXTENDIDA TIPO AGUJA CILÍNDRICA					
TEMPERATURA DE LA FUENTE DE CALOR (°C)				50	
DATOS TEÓRICOS		**DATOS SIMULADOS**		**DATOS EXPERIMENTALES**	
L(m)	T(°C)	L(m)	T(°C)	L(m)	T(°C)
0,00	45,10	0,00	44,224	0,00	46,04

Continuación de la tabla 25

0,03	39,51	0,03	38,7823	0,03	42,68
0,06	36,38	0,06	35,6284	0,06	40,50
0,09	35,25	0,09	34,7623	0,09	37,81

Fuente: El autor

Tabla 26. Porcentaje de error entre los datos teóricos y experimentales

DATOS TEÓRICOS	DATOS EXPERIMENTALES	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO
T(K)	T(K)		%
318,25	319,19	0,94	0,30%
312,66	315,83	3,17	1,01%
309,53	313,65	4,12	1,33%
308,40	310,96	2,56	0,83%

Fuente: El autor

Tabla 27. Porcentaje de error entre los datos simulados y experimentales

DATOS SIMULADOS	DATOS EXPERIMENTALES	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO
T(K)	T(K)		%
317,37	319,19	1,82	0,57%
311,93	315,83	3,90	1,25%
308,78	313,65	4,87	1,58%
307,91	310,96	3,05	0,99%

Fuente: El autor

Tabla 28. Porcentaje de error entre los datos teóricos y simulados

DATOS TEÓRICOS	DATOS SIMULADOS	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO
T(K)	T(K)		%
318,25	317,37	0,88	0,28%
312,66	311,93	0,73	0,23%
309,53	308,78	0,75	0,24%
308,40	307,91	0,49	0,16%

Fuente: El autor

En la Figura 65 se presenta las curvas de distribución de temperatura a lo largo de la aleta tanto teórica, simulada como experimental.

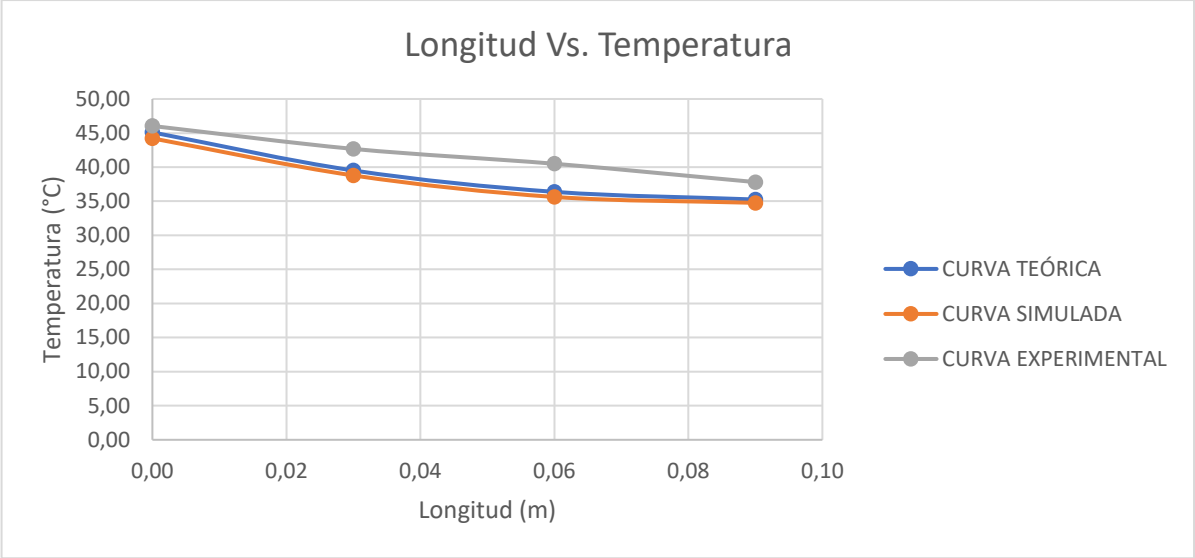


Figura 65. Curvas de distribución de temperatura (Aleta tipo aguja cilíndrica)
Fuente: El Autor

Análisis de resultados

Al igual que en las aletas longitudinales el porcentaje de error entre las curvas (Figura 64) se debe a las diversas consideraciones utilizadas para el análisis térmico, tanto en las ecuaciones teóricas como en la simulación del software 3D.

Según la ecuación de la Tabla 4 para este tipo de superficies, la eficiencia del arreglo de aletas es:

$$\eta = 77{,}12\ \%$$

Valor que es aceptable para un uso práctico.

Superficie extendida tipo aguja cuadrada

Tiempo de estabilización: 60 min

En la tabla 29 se muestra los datos obtenidos para la superficie extendida tipo aguja cuadrada

Tabla 29. Datos obtenidos para el arreglo de aletas tipo aguja cuadrada

SUPERFICIE EXTENDIDA TIPO AGUJA CUADRADA					
TEMPERATURA DE LA FUENTE DE CALOR (°C)				50	
DATOS TEÓRICOS		DATOS SIMULADOS		DATOS EXPERIMENTALES	
L(m)	T(°C)	L(m)	T(°C)	L(m)	T(°C)
0,00	46,92	0,00	44,421	0,00	45,79
0,03	39,33	0,03	37,77501	0,03	41,44
0,06	35,19	0,06	33,94764	0,06	38,00
0,09	33,68	0,09	32,93889	0,09	36,81

Fuente: El autor

Tabla 30. Porcentaje de error entre los datos teóricos y experimentales

DATOS TEÓRICOS	DATOS EXPERIMENTALES	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO
T(K)	T(K)		%
320,07	318,94	1,12	0,35%
312,48	314,59	2,11	0,67%
308,34	311,15	2,80	0,91%
306,83	309,96	3,13	1,02%

Fuente: El autor

Tabla 31. Porcentaje de error entre los datos simulados y experimentales

DATOS SIMULADOS	DATOS EXPERIMENTALES	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO
T(K)	T(K)		%
317,57	318,94	1,37	0,43%
310,93	314,59	3,66	1,18%
307,10	311,15	4,05	1,32%
306,09	309,96	3,87	1,27%

Fuente: El autor

Tabla 32. Porcentaje de error entre los datos teóricos y simulados

DATOS TEÓRICOS	DATOS SIMULADOS	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO
T(K)	T(K)		%
320,07	317,57	2,50	0,78%
312,48	310,93	1,56	0,50%
308,34	307,10	1,25	0,40%
306,83	306,09	0,75	0,24%

Fuente: El autor

En la Figura 66 se presenta las curvas de distribución de temperatura a lo largo de la aleta tanto teórica, simulada como experimental.

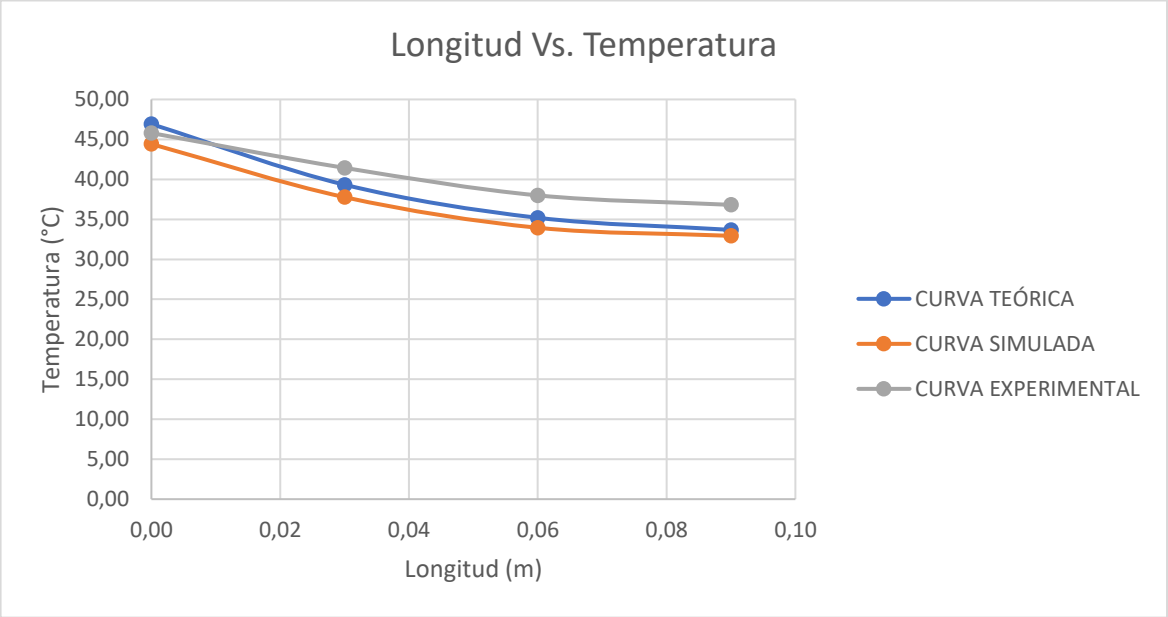


Figura 66. Curvas de distribución de temperatura (Aleta tipo aguja cuadrada)
Fuente: El Autor

Análisis de resultados

Al igual que en los dos tipos de superficies extendidas anteriores el porcentaje de error entre las curvas (Figura 65) se debe a las mismas consideraciones utilizadas en el análisis térmico.

Según la ecuación de la Tabla 4, la eficiencia para este tipo de arreglo de aletas es:

$$\eta = 77{,}43\ \%$$

Aunque la eficiencia sea aproximadamente igual al arreglo de aletas anterior, no es conveniente utilizar este tipo arreglo, ya que haciendo uso de la tabla de ponderación (Tabla 34) implantada en el software desarrollado en Microsoft Excel®2019, se puede observar que el arreglo de aletas Tipo Aguja cilíndrica presenta mejores características.

Tabla 33. Resultados obtenidos para el arreglo de aletas tipo aguja

Resultados obtenidos					
Tipo	**Eficiencia global del arreglo**	**Flujo de calor total (W)**	**Temperatura en la base (°C)**	**Temperatura en la punta (°C)**	**Efectividad**
Aguja cilíndrica	0,77	28,47	45,10	35,25	2,67
Aguja cuadrada	0,77	17,93	46,92	33,68	1,68
Aguja cónica	0,90	20,82	46,42	35,83	1,95
Aguja parabólica cóncava	0,94	17,56	46,98	22	1,65

Fuente: El autor

Tabla 34. Tabla de ponderación para el arreglo de aletas tipo aguja

Tabla de ponderación						
Tipo	**Eficiencia global del arreglo**	**Flujo de calor total (W)**	**Temperatura en la base (°C)**	**Temperatura en la punta (°C)**	**Efectividad**	**Total**
Aguja cilíndrica	1	4	4	2	4	**15**
Aguja cuadrada	2	2	2	3	2	**11**
Aguja cónica	3	3	3	1	3	**13**
Aguja parabólica cóncava	4	1	1	4	1	**11**

Fuente: El autor

7. DISCUSIÓN

Al realizar el análisis de las mediciones se puede denotar que hay una estrecha relación entre los datos obtenidos experimentalmente con los datos de simulación y teóricos, debido al bajo porcentaje de error relativo obtenido entre los mismos, esto se debe a que en el análisis se utilizó valores lo más próximo a la realidad tanto para el diseño como para la simulación térmica, sin embargo, cabe recalcar que para obtener los errores relativos se utilizó temperaturas absolutas (Kelvin) y es de conocimiento que la diferencia de temperatura en Kelvin ($\Delta T(K)$) es igual a la diferencia de temperatura en grados Celsius ($\Delta T(^{\circ}C)$), por lo cual si relacionamos la fórmula de error relativo con la temperatura en grados Celsius y en Kelvin se obtiene la siguiente expresión:

$$Error\ relativo = \frac{valor\ medido - valor\ real}{valor\ real} = \frac{\Delta T(K)}{T(K)} = \frac{\Delta T(^{\circ}C)}{T(^{\circ}C)}$$

Como se puede observar solamente cambia el denominador, de manera que, si se aplica la fórmula de error relativo a temperaturas en grados Celsius, el porcentaje de error aumenta como se puede observar a continuación:

Porcentajes de error obtenidos con temperatura Absoluta (Kelvin):

- Datos Simulados Vs. Experimentales: van desde un promedio mínimo de 0,26% hasta un máximo de 1,10%.
- Datos Teóricos Vs. Experimentales: van desde un promedio mínimo de 0,187% hasta un máximo de 0,87%.
- Datos Teóricos Vs. Simulados: van desde un promedio mínimo de 0,08% hasta un máximo de 0,48%.

Porcentajes de error obtenidos con temperatura en grados Celsius:

- Datos Simulados Vs. Experimentales: van desde un promedio mínimo de 2,44% hasta un máximo de 8,3%.
- Datos Teóricos Vs. Experimentales: van desde un promedio mínimo de 1,73% hasta un máximo de 6,6%.

- Datos Teóricos Vs. Simulados: van desde un promedio mínimo de 0,75% hasta un máximo de 3,91%.

Desde el punto de vista de la temperatura en Kelvin se podría decir que el modelo matemático implementado para el análisis de las superficies es excelente, dado que prácticamente se obtiene una correlación de 1 entre los datos obtenidos, sin embargo, desde el punto de vista de la temperatura en grados Celsius se puede observar que si existen inconsistencias en el modelo matemático.

La aplicación desarrollada en el presente proyecto fue basada en la metodología resistencias térmicas de manera análoga a los problemas de circuitos eléctricos, dicha metodología es utilizada por diversos autores, dada su facilidad para resolver los problemas de transferencia de calor tales como: (Cengel & Ghajar, 2011), (Incropera & DeWITT, 1999) y (Kreith, Manglik, & Bohn, 2012), sin embargo, esta no es la única metodología de cálculo, ya que existen otras que son mucho más complejas e involucran un sin número de ecuaciones, tal es el método de análisis por diferencias finitas, utilizada en la tesis de (Calderón & Chavez, 2018), donde se realiza un programa codificado en el software Matlab®, el cual permite determinar el gradiente de temperatura a largo de una aleta tipo aguja cilíndrica. En esta investigación se puede observar el nivel de complejidad que implica el utilizar el método de diferencias finitas para el análisis de dichas superficies.

A nivel local en la ciudad de Loja no se han realizado estudios referentes al análisis de superficies extendidas, sin embargo, en la Universidad Nacional de Loja se han desarrollado un sinnúmero de investigaciones que involucran modelado matemático, desarrollo, programación de algoritmos y vinculación paramétrica con softwares de modelado 3D de los diferentes componentes de una máquina, entre los más resientes tenemos la tesis (Rivera, 2020), en la misma que se diseñó y desarrollo una herramienta computacional, para determinar el diámetro mínimo de ejes, sometidos a cargas cíclicas. La programación de los diferentes modelos matemáticos e interfaces gráficas, se realizaron en el entorno de desarrollo Java – NetBeans IDE 8.2, para luego establecer una comunicación con el software de diseño paramétrico Inventor Professional®, para obtener una representación virtual del eje final en 3D. Otra investigación resiente fue la tesis (Ambuludi, 2016), la cual consistió en el desarrollo

de una aplicación de software orientada al diseño mecánico parametrizado de un prototipo de bomba de pistón alternativa y sumergible. Utilizando el método de grafos dicromáticos se desarrolló un algoritmo de solución para el modelo matemático planteado y se lo programo en Microsoft Excel® para su posterior vinculación con Autodesk Inventor®.

Al realizar una comparativa entre el presente proyecto y las dos investigaciones antes mencionadas se puede denotar que además de incluir el modelado matemático, el desarrollo y la programación del algoritmo y la vinculación paramétrica se añadió dos ítems más; la simulación térmica y la construcción del módulo DAQ, con los cuales se logró la validación del proyecto. En la tesis (Ambuludi, 2016) se utiliza el método de grafos dicromáticos para desarrollar el algoritmo, debido a su sencillez, grado de terminación y la certeza de los resultados, aunque es un método bueno, es un poco extenso y resulta conveniente utilizarlo cuando se tenga un número elevado de ecuaciones, parámetros de diseño y variables, el cual no es el caso del presente proyecto, además, también en dicha investigación se utilizó Autodesk Inventor ® para obtener el modelo 3D parametrizado, el mismo que no fue utilizado en la presente investigación debido a que dicho software solamente permite el modelado 3D mas no la simulación. La tesis de (Rivera, 2020) desarrolla la programación utilizando Java – NetBeans IDE 8.2, la cual permite ingresar los modelos matemáticos y generar interfases que son amigables con el usuario, en la presente investigación no se utilizó dicha herramienta debido a la falta de conocimientos en cuanto a la programación de la misma, por lo cual se optó desarrollar la programación del algoritmo mediante el lenguaje VBA de Microsoft Excel®, esto debido a la experiencia en el manejo del mismo y la facilidad de vinculación con SolidWorks 2017®, que fue el programa elegido para obtener el modelo 3D virtual y realizar la simulación térmica correspondiente. En un futuro se podría programar el algoritmo directamente en el software de diseño 3D, utilizando la herramienta DriveWorks Solo[14], la cual se la puede incorporar en el programa adquiriendo su respectiva licencia. En esta ocasión no se la utilizó por la complicación al momento de su programación, ya que al igual que en la programación de Java – NetBeans IDE 8.2 no se cuenta con los conocimientos necesarios para la utilización de la misma.

[14] DriveWorks Solo es una herramienta que permite automatizar piezas, conjuntos y dibujos detallados de SolidWorks®, controla dimensiones, características, propiedades personalizadas y parámetros de características avanzadas. Crea una biblioteca de componentes utilizando la reutilización inteligente de archivos.

A nivel nacional e internacional se pueden encontrar un número elevado de investigaciones que evalúan el desempeño de las superficies extendidas, entre estas tenemos la investigación desarrollada por (Almachi & Pilliza, 2013), la cual consiste en el Diseño y construcción de un equipo para el estudio de transferencia de calor en superficies extendidas en estado estable. Aunque en la investigación antes mencionada solamente se obtienen las curvas de distribución de temperatura de tres tipos de aleta (Aleta de sección circular constante de aluminio, Aleta de sección circular constante de acero y aleta triangular de acero), los porcentajes de error promedio entre las mediciones son próximos a los obtenidos en nuestro proyecto de tesis como se observa a continuación:

Para (Almachi & Pilliza, 2013) con temperatura absoluta (Kelvin):

- Datos Simulados Vs. Experimentales: van desde un mínimo de 0,447% hasta un máximo de 1,51%
- Datos Teóricos Vs. Experimentales: van desde un mínimo de 0,34% hasta un máximo de 0,407%
- Datos Teóricos Vs. Simulados: van desde un mínimo de 0,1% hasta un máximo de 1,24%

Las superficies extendidas elaboradas en dicha tesis constan de una sola aleta, lo cual difiere de la presente investigación ya que en la misma se considera el análisis para arreglos de aletas, que pueden ser de dos aletas en adelante para superficies extendidas longitudinales y de cuatro aletas en adelante para las superficies extendidas tipo aguja. Además, cabe recalcar que en la investigación de (Almachi & Pilliza, 2013), se utiliza otro tipo de software de modelado 3D y simulación Térmica (COMSOL 4.0) y otro tipo de Tarjeta DAQ (NI USB-6009 de la NATIONAL INSTRUMENTS) para la adquisición de datos.

En relación a otras investigaciones realizadas se puede encontrar la tesis de (Lazo & Salguero, 2017), en el cual se realiza un banco de pruebas para superficies extendidas con fines didácticos, de manera que se obtiene las curvas de distribución de temperatura en tiempo real de tres tipos de aguja (circular, cónica y cuadrada). En dicho trabajo de investigación se realiza la validación de las lecturas obtenidas a través de los sensores, al comprobar que los perfiles de temperatura teóricos y en tiempo real presenten la misma tendencia de decrecimiento a lo

largo de las aletas, por lo cual no se pude tener un porcentaje de error numérico que permita visualizar el grado de exactitud que presenta dicho banco.

El módulo DAQ construido en el presente proyecto brinda la posibilidad de que en un futuro se creen otros tipos de arreglos de aletas y puedan ser colocados en el mismo, además de poder realizar nuevos estudios en lo concerniente a la transferencia de calor, tales como: La influencia que tiene el utilizar pasta térmica entre dos superficies en contacto, el efecto que produce en el coeficiente de convección al cambiar la configuración geométrica de las superficies extendidas tipo aguja de alineada a escalonada, entre otras.

El aporte del proyecto está enfocada a ingenieros y estudiantes, que tengan la necesidad de analizar y/o comparar los diferentes arreglos de aletas de una manera rápida y eficaz, ya que la misma permitirá escoger el tipo de aletas más adecuado para realizar un trabajo en cuanto a eficiencia, efectividad, temperatura en la base, temperatura en la punta y flujo de calor. Además, la metodología planteada se espera, sirva como guía para el desarrollo de nuevas aplicaciones destinadas al análisis térmico y modelado 3D parametrizado de máquinas y/o piezas que existen en el campo de la ingeniería.

8. CONCLUSIONES

- Con base a la revisión bibliográfica realizada se ha logrado sistematizar en la sección 4.5 la información requerida acerca del análisis térmico de superficies extendidas, en la cual se determinó algunos aspectos sobresalientes, entre los más importantes tenemos:
  -La condición de frontera para la punta de la aleta que más se puede encontrar en la práctica es la de Convección y radiación combinadas.
  -Las superficies extendidas pueden ser colocadas sobre dispositivos que pueden ser de diversa configuración geométrica como tubular, plana o esférica.
  -La utilización de las aletas se justifica si la efectividad de la aleta es mayor a 2.
  -La eficiencia de las aletas debe estar por encima del 90% para un uso práctico.
- El algoritmo desarrollado está representado mediante un Flujograma (Sección 6), en el cual se describe el proceso para la parametrización y la simulación térmica de los diferentes tipos de superficies extendidas como son: las aletas tipo aguja y las aletas longitudinales. La aplicación del algoritmo fue programada en dos softwares uno para el análisis térmico (Microsoft Excel 2019®), el cual utiliza la programación VBA para crear interfaces que facilitan la interacción hombre computadora y otro para el modelado 3D y la simulación térmica (SolidWorks 2017®), el cual permite realizar la parametrización y la simulación correspondiente.
- Se validó y comprobó el algoritmo desarrollado mediante un módulo DAQ, el cual consta de una fuente de calor, un regulador de voltaje (AC) y el sistema DAQ (Tarjeta Arduino, amplificador MAX 6675 y termocuplas tipo K). Los arreglos de aletas construidos fueron los tipo aguja (cuadrada, cilíndrica) y las aletas longitudinales de perfil rectangular, en las cuales se obtuvo las curvas de distribución de temperatura en tiempo real y de esta forma se logró comparar los porcentajes de error promedio que van desde un mínimo de 0,26% hasta un máximo de 1,10% para los Datos Simulados Vs. Experimentales y de 0,187% a 0,87% para los Datos Teóricos Vs. Experimentales.
- Se elaboró un documento conciso y sistemático expuesto en el Anexo 9, donde se explica el proceso para el correcto uso del algoritmo desarrollado y del módulo DAQ, además también se propone el desarrollo de una práctica experimental, con el fin de afianzar los

conocimientos adquiridos acerca del comportamiento térmico en las superficies extendidas.

- Se logró vincular los softwares Microsoft Excel 2019® y SolidWorks 2017®, lo cual permite parametrizar los diseños de aletas tipo aguja (Cilíndrica, Cuadrada, Cónica, Parabólica cóncava) y aletas Longitudinales (Perfil rectangular, Perfil triangular y Perfil parabólico cóncavo) a través de una tabla dinámica configurada en Excel.
- Para visualizar de mejor forma el fenómeno termo_físico de la transferencia de calor en Arreglos de superficies extendidas se desarrolló un panel bajo el ambiente de LabVIEW®, el cual representa en tiempo real la curva de distribución de temperatura a lo largo de la aleta dependiendo de la variación del flujo de calor.
- El módulo registra cinco datos de temperatura, para lo cual los sensores utilizan tres pines digitales cada uno, de manera que se decidió seleccionar la tarjeta Arduino MEGA 2560, y para el almacenamiento de datos se desarrolló el programa de control en la plataforma IDE de Arduino que envía los datos a LabVIEW® y los almacena en una hoja de Microsoft Excel®.

9. RECOMENDACIONES

- El algoritmo desarrollado demuestra ser una herramienta muy útil para el modelado, diseño 3D y simulación térmica de diferentes tipos de superficies extendidas. Consecuentemente, para su uso se recomienda introducir a la aplicación los valores de constantes, (coeficiente de convección, conductividad térmica y conductancia térmica por contacto), más cercanos a la realidad para así obtener los mejores resultados.
- Para que la tabla de ponderación implantada en la aplicación funcione se recomienda instalar el paquete de Microsoft Office®2019, ya que es la única versión que contiene la función requerida para asignar los pesos ponderados a los diversos parámetros de salida.
- Se recomienda ubicar la aplicación desarrollada en la dirección prefijada (Disco Local C), de manera que la vinculación parametrizada entre los softwares seleccionados (Microsoft Excel 2019® y SolidWorks 2017®) presenten seguridad de comunicación.
- Adquirir la licencia del software de modelado 3D SolidWorks®, con el fin de que los estudiantes de la UNL puedan hacer uso de todas las prestaciones que presenta dicho software sin ninguna limitación.
- Investigar sobre la herramienta DriveWorks Solo de SolidWorks®, con el fin de poder realizar el análisis, el modelado 3D y la simulación térmica de las superficies extendidas utilizando menos software.
- Con el fin de complementar la aplicación desarrollada en Microsoft Excel®, se podría desarrollar modelos matemáticos que incluyan costos de mecanizado, mano de obra, entre otros, los cuales pueden ser implantados en la tabla de ponderación generada para cada tipo de superficie extendida.

10. BIBLIOGRAFÍA

Almachi, J., & Pilliza, J. (2013). Diseño y construcción de un equipo para el estudio de transferencia de calor en superficies extendidas en estado estable , destinado al laboratorio de transferencia de calor de la Escuela Politécnica Nacional. *(Tesis para obtener el Título de Ingeniero Mecánico).* Escuela Nacional Politécnica, Quito.

Ambuludi, Â. (2016). Desarrollo de una aplicación para el diseño mecánico de un prototipo prestablecido de bomba de pistón alternativa y sumergible, mediante software de ingeniería. *(Tesis de grado previo a optar el título de Ingeniero Electromecánico).* Universidad Nacional de Loja, Loja.

Calderón, M., & Chavez, A. (2018). Simulación numérica de las ecuaciones en diferencias finitas para determinar las temperaturas nodales en una aleta cilíndrica. *Tesis para obtar el titulo de Ingeniero Químico.* Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.

Cengel, Y., & Ghajar, A. (2011). *Transferencia de calor y masa.* México: McGRAW-HILL.

Corona, M., & Ancona, M. d. (2011). *Diseño de Algoritmos y su codificación en lenguaje C.* México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Escalona Escalona, Y., Romero Vega, A., Marrero Osorio, S., & Rodriguez Puente, R. (2013). Sistema para la solución de problemas de computo basado en el Método de Grafos Dicromáticos. *Revista Internacional de Gestión de Conocimiento y Tecnología*, 10.

Fernández, P. (1992). *Ingeniería Térmica y de Fluidos.* Escuela T. Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación, Santander, España.

HETPRO. (24 de Noviembre de 2019). *HETPRO.* Obtenido de https://hetpro-store.com/sensor-infrarrojo-de-temperatura-gy-906-bcc-mlx90614esf-bcc/

Incropera, F., & DeWITT, D. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor.* México: PRENTICE HALL.

KRAUS, A. D., AZIZ, A., & WELTY, J. (2001). *Extenced surface heat transfer*. CANADA: JOHN WILEY;SONS.

Kreith, F., Manglik, R., & Bohn, M. (2012). *Principios de transferencia de calor*. México: CENGAGE Learning.

Lazo, Z., & Salguero, M. (2017). Construcción de un banco de pruebas en superficies extendidas para fines didácticos. *Tesis para obtar el titulo de Ingeniero Mecánico.* Escuela de Ingenieria Mecánica, San Salvador.

Miyara, F. (2004). Comversores A/D Y D/A. *(Proyecto de electrónica).* Universidad Nacional de Rosario, Argentina.

NEC-11. (2011). *Norma Ecuatoriana de la Construcción* . Quito.

Obregón, J. M. (2007). Desarrollo de un sistema de adquisicion de datos de temperatura para evalución funcional de incubadoras. *(Tesis para optar el título de Ingeniero Electrónico).* Pontifica Universidad Catolica del Peru, Lima.

Puntambekar, A. (2009). *Design and Analysis of Algorithms.* T. P. Pune Ed. First ed.

Rivera, O. (2020). Diseño y desarrollo de una herramienta computacional, para el cálculo del diámetro mínimo de ejes de transmisión, bajo la acción de cargas cíclicas. *Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico.* Universidad Nacional de Loja, Loja.

SRC. (24 de Noviembre de 2019). *SRC.* Obtenido de https://srcsl.com/catalogo/sensores-de-temperatura-infrarrojos/

Terrazocultor, J. M. (26 de Febrero de 2014). *Ciencia, inventos y experimentos en casa*. Obtenido de Ciencia, inventos y experimentos en casa: https://100ciaencasa.blogspot.com/2014/02/circuitos-utiles-02-regulador-corriente.html

WordPress. (29 de Marzo de 2016). *Aprendiendo Arduino*. Obtenido de aprendiendo arduino: https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/03/29/entorno-de-programacion-de-arduino-ide/

Yubal FM. (03 de Agosto de 2018). *Xataka*. Obtenido de Xataka: https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno

Zambrano, R. (2016). Aquisición, control y monitoreo de parámetros eléctricos y velocidad de un motor trifásico. *Revista Iberoamericana de Producción Academica y Gestión Educativa*, 31.

Zaquinaula, J., Toro, F., Escudero, V., & Valdivieso, R. (2006). Diseño y montaje de un banco de pruebas para análisis térmico en intercambiadores de calor. *(Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico).* Universidad Nacional de Loja, Loja.

20 minutos. (30 de Junio de 2019). ¿Cual es la temperatura máxima que puede soportar el ser humano? *20 minutos*. Obtenido de https://www.20minutos.es/noticia/3688077/0/cual-temperatura-maxima-puede-soportar-ser-humano/

Anexo 1:

Correlaciones para la obtención del coeficiente de convección

TEMA 6. CONVECCIÓN FORZADA EN FLUJO EXTERNO

Tabla 6.1. Tabla resumen de correlaciones para flujo externo sobre placa plana.

	Correlaciones	Transferencia de calor	Condiciones
1*	$Nu_x = \frac{h_x x}{k} = 0{,}332 Re_x^{1/2} Pr^{1/3}$	$q''_x = h_x (T_s - T_\infty)$ $dq = h_x (T_s - T_\infty) dA_s$	Placa a temperatura T_s constante. Régimen laminar. Valor local en x. $Pr > 0{,}6$.
2**	$\overline{Nu}_x = \frac{\overline{h}_x x}{k} = 0{,}664 Re_x^{1/2} Pr^{1/3}$	$\overline{q''} = \overline{h}(T_s - T_\infty)$ $q = \overline{h} A_s (T_s - T_\infty)$	Placa a T_s constante. Régimen laminar. Valor promedio entre 0 y x (ó entre 0 y $x = L$). $Pr > 0{,}6$.
3*	$Nu_x = \frac{h_x x}{k} = 0{,}0296 Re_x^{4/5} Pr^{1/3}$	$q''_x = h_x (T_s - T_\infty)$ $dq = h_x (T_s - T_\infty) dA_s$	Placa a T_s constante. Régimen turbulento. Valor local en x. $0{,}6 < Pr < 60$.
4**	$\overline{Nu}_L = \frac{\overline{h}_L L}{k} = (0{,}037 Re_L^{4/5} - 871) Pr^{1/3}$	$\overline{q''} = \overline{h}(T_s - T_\infty)$ $q = \overline{h} A_s (T_s - T_\infty)$	Placa a T_s constante. Régimen mixto (parte laminar y parte turbulento). Valor promedio entre 0 y $x = L$. $Pr > 0{,}6$. $5 \cdot 10^5 < Re_L < 10^8$.
5**	$\overline{Nu}_L = \frac{\overline{h}_L L}{k} = 0{,}037 Re_L^{4/5} Pr^{1/3}$	$\overline{q''} = \overline{h}(T_s - T_\infty)$ $q = \overline{h} A_s (T_s - T_\infty)$	Placa a T_s constante. Régimen predominantemente turbulento (parte laminar despreciable $\Rightarrow L >> x_c$ y $Re_L >> Re_{x,c}$). Valor promedio entre 0 y $x = L$. $Pr > 0{,}6$. $5 \cdot 10^5 < Re_L < 10^8$.
6*	$Nu_x = 0{,}453 Re_x^{1/2} Pr^{1/3}$	$q''_s = cte. \;/\; T_s(x) = T_\infty + \frac{q''_s}{h_x(x)}$	Placa que desprende un flujo de calor uniforme. Régimen laminar. Valor local en x. $Pr > 0{,}6$.
7*	$Nu_x = 0{,}0308 Re_x^{4/5} Pr^{1/3}$	$q''_s = cte. \;/\; T_s(x) = T_\infty + \frac{q''_s}{h_x(x)}$	Placa que desprende un flujo de calor uniforme. Rég. turbulento. Valor local en x. $0{,}6 < Pr < 60$.

*: $Re_x = \frac{\rho u_\infty x}{\mu} = \frac{u_\infty x}{\nu}$ **: $Re_L = \frac{\rho u_\infty L}{\mu} = \frac{u_\infty L}{\nu}$ Condición de rég. turbulento para placa plana: $Re_{x,c} > 5 \cdot 10^5$ Número de Prandtl: $Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu}{\rho}\frac{\rho c_p}{k} = \frac{\mu c_p}{k}$

En todas las correlaciones las propiedades del fluido se calculan a la temperatura de película: $T_f = (T_s + T_\infty)/2$; T_s: Temperatura de la superficie [K]; T_∞: Temp. del flujo libre [K]; A_s: Área de transferencia de calor [m^2]; ν: viscosidad cinemática [m^2/s]; μ: viscosidad dinámica [N/m^2·s]; α: difusividad térmica [m^2/s]; k: conductividad térmica del fluido [W/m·K].

Tabla 6.2. Tabla resumen de correlaciones para flujo cruzado sobre cilindros.

	Correlaciones para flujo cruzado sobre un cilindro	Transferencia de calor	Condiciones
1	$\overline{Nu}_D = \frac{\overline{h}D}{k} = CRe_D^m Pr^{1/3}$	$\overline{q''} = \overline{h}(T_s - T_\infty)$ $q = \overline{h}A_s(T_s - T_\infty)$	Correlación de Hilpert. Los valores de las constantes C y m se dan en la Tabla 6.3 en función de Re_D. La Tabla 6.4 da los valores de las constantes para cilindros no circulares. Las propiedades se evalúan a T_f. Válida para fluidos con $Pr \geq 0{,}7$.
2	$\overline{Nu}_D = \frac{\overline{h}D}{k} = CRe_D^m Pr^n \left(\frac{Pr}{Pr_s}\right)^{1/4}$	$\overline{q''} = \overline{h}(T_s - T_\infty)$ $q = \overline{h}A_s(T_s - T_\infty)$	Correlación de Zhukauskas. Con $\begin{bmatrix} n = 0{,}37 \text{ si } Pr \leq 10 \\ n = 0{,}36 \text{ si } Pr > 10 \end{bmatrix}$ y $\begin{bmatrix} 0{,}7 < Pr < 500 \\ 1 < Re_D < 10^6 \end{bmatrix}$. Los valores de las constantes C y m se dan en la Tabla 6.5 en función de Re_D. Las propiedades se evalúan a T_∞, excepto Pr_s a T_s
3	$\overline{Nu}_D = \frac{\overline{h}D}{k} = 0{,}3 + \frac{0{,}62Re_D^{1/2}Pr^{1/3}}{\left[1+(0{,}4/Pr)^{2/3}\right]^{1/4}}\left[1+\left(\frac{Re_D}{282000}\right)^{5/8}\right]^{4/5}$	$\overline{q''} = \overline{h}(T_s - T_\infty)$ $q = \overline{h}A_s(T_s - T_\infty)$	Correlación de Churchill y Bernstein. Con propiedades a T_f y $Re_D \cdot Pr > 0{,}2$.
	Correlaciones para flujo cruzado sobre un banco de *N* cilindros	**Transferencia de calor**	**Condiciones**
4	$\overline{Nu}_D = \frac{\overline{h}D}{k} = CRe_{D,máx}^m Pr^{0,36}\left(\frac{Pr}{Pr_s}\right)^{1/4}$	$\overline{q''} = \overline{h}\Delta T_{ml}$ $\overline{q'} = \overline{h}\pi D\Delta T_{ml}$ $q = \overline{q'}NL = \overline{h}N\pi DL\Delta T_{ml}$	Correlación de Zhukauskas. Con $\begin{bmatrix} N_L \geq 20 \\ 1.000 < Re_{D,máx} < 2{\cdot}10^6 \\ 0{,}7 < Pr < 500 \end{bmatrix}$. Las constantes C y m se dan en la Tabla 6.6. Las propiedades se evalúan a $\overline{T} = (T_{ent} + T_{sal})/2$, excepto Pr_s a T_s. Para $N_L < 20$ se aplica un factor de corrección tal que $\overline{Nu}_D\big\|_{N_L<20} = C_2\overline{Nu}_D\big\|_{N_L\geq 20}$, donde C_2 está dado en la Tabla 6.7

$Re_D = \frac{\rho u_\infty D}{\mu} = \frac{u_\infty D}{\nu}$ $\quad Re_{D,máx} = \frac{\rho V_{máx} D}{\mu} = \frac{V_{máx} D}{\nu}$

Diferencia de temperaturas media logarítmica: $\Delta T_{ml} = \frac{(T_s - T_{ent}) - (T_s - T_{sal})}{\ln\left(\frac{T_s - T_{ent}}{T_s - T_{sal}}\right)}$

Config. alineada: $V_{máx} = \frac{S_T}{S_T - D}V$; Config. escalonada: $V_{máx} = \frac{S_T}{S_T - D}V$ si $2(S_D - D) > (S_T - D)$ ó $V_{máx} = \frac{S_T}{2(S_D - D)}V$ si $2(S_D - D) < (S_T - D)$;

Cálculo de la temperatura de salida del flujo: $\frac{T_s - T_{sal}}{T_s - T_{ent}} = \exp\left(-\frac{\pi DN\overline{h}}{\rho V N_T S_T c_p}\right)$

S_T: espaciado transversal; S_L: espaciado longitudinal; N_T: número de tubos en direc. transversal; N_L: número de tubos en direc. longitudinal; $N = N_T \times N_L$: núm. total de tubos.

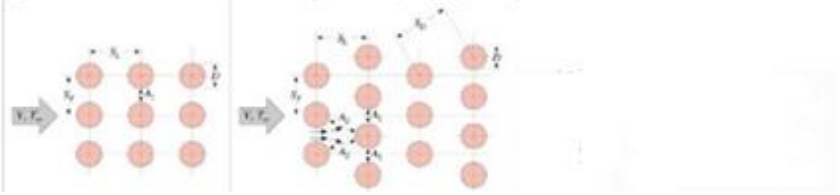


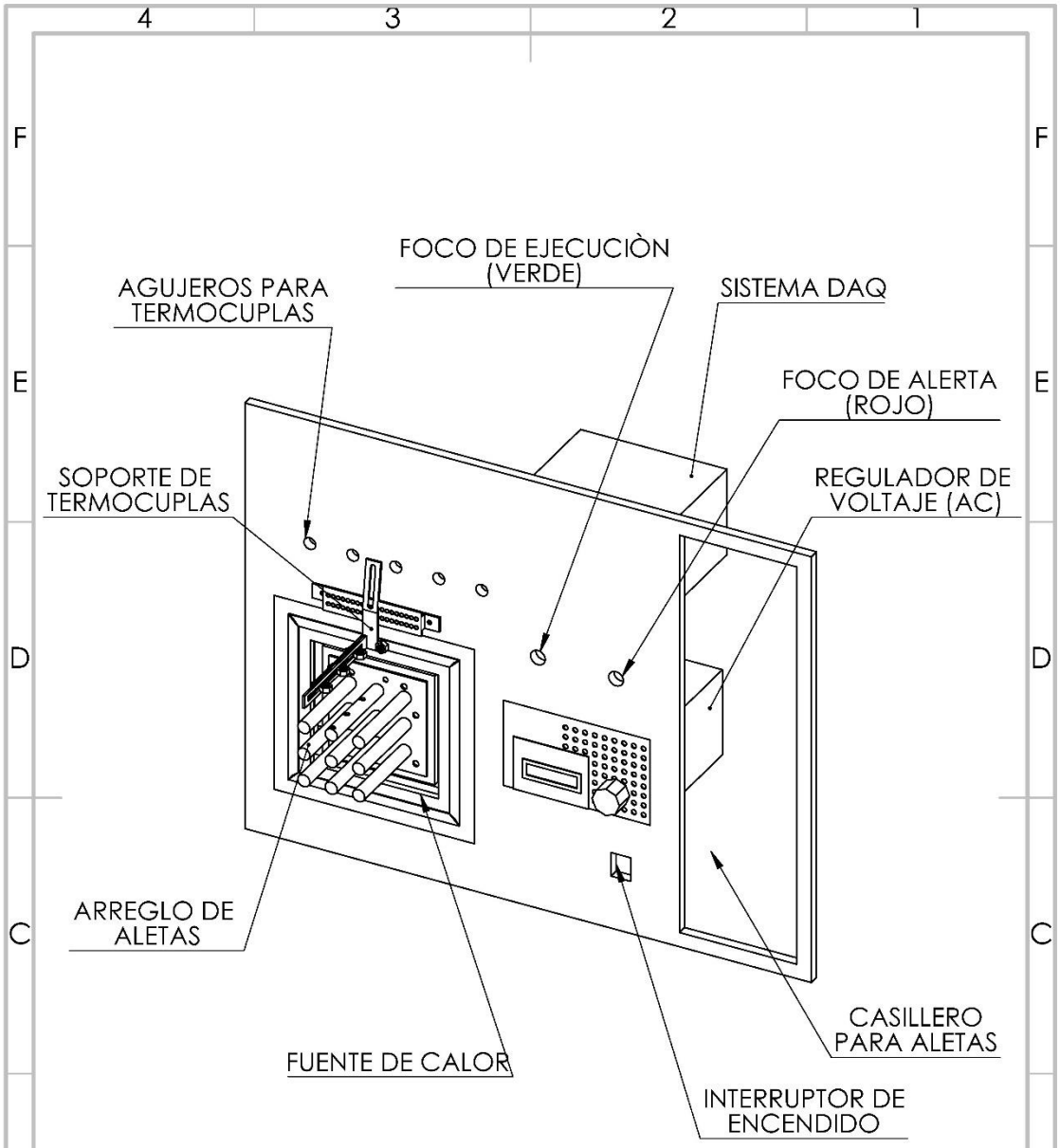
Tabla 8.1. Tabla resumen de correlaciones de convención libre.

	Correlación	Transferencia de calor	Representación gráfica	Condiciones
1	$Nu_x = \frac{hx}{k} = \left(\frac{Gr_x}{4}\right)^{1/4} \frac{0{,}75Pr^{1/2}}{(0{,}609 + 1{,}221Pr^{1/2} + 1{,}238Pr)^{1/4}}$	$q''_s = h(T_s - T_\infty)$ $dq = h(T_s - T_\infty)dA_s$	$T_s > T_\infty$ $T_s < T_\infty$	Placa vertical con temperatura superficial constante, $T_s = cte$. Régimen laminar, $Gr_x < 10^9$. Correlación local. Correlación promedio: $\overline{Nu}_L = \frac{\overline{h}L}{k} = \frac{4}{3}Nu_L$
2	$\overline{Nu}_L = \frac{\overline{h}L}{k} = \left\{0{,}825 + \frac{0{,}387Ra_L^{1/6}}{[1 + (0{,}492/Pr)^{9/16}]^{8/27}}\right\}^2$	$\overline{q''} = \overline{h}(T_s - T_\infty)$ $q = \overline{h}A_s(T_s - T_\infty)$		Correlación de Churchill y Chu. Placa vertical con $T_s = cte$. Correlación promedio. Válida para todo Ra_L.
3	$\overline{Nu}_L = \frac{\overline{h}L}{k} = 0{,}68 + \frac{0{,}670Ra_L^{1/4}}{[1 + (0{,}492/Pr)^{9/16}]^{4/9}}$	$\overline{q''} = \overline{h}(T_s - T_\infty)$ $q = \overline{h}A_s(T_s - T_\infty)$		Placa vertical con $T_s = cte$. $Ra_L \le 10^9$. Correlación promedio.
4	$\overline{Nu}_{L_c} = \frac{\overline{h}L_c}{k} = 0{,}54Ra_{L_c}^{1/4}$ con $10^4 \le Ra_{Lc} \le 10^7$	$\overline{q''} = \overline{h}(T_s - T_\infty)$ $q = \overline{h}A_s(T_s - T_\infty)$	$T_s > T_\infty$ $T_s < T_\infty$	Placa horizontal con $T_s = cte$. Superficie superior de placa caliente o inferior de placa fría. Correlación promedio. Longitud característica definida como el cociente entre el área y el perímetro de la placa: $L_c = A_s / P$.
5	$\overline{Nu}_{L_c} = \frac{\overline{h}L_c}{k} = 0{,}15Ra_{L_c}^{1/3}$ con $10^7 \le Ra_{Lc} \le 10^{11}$			
6	$\overline{Nu}_{L_c} = \frac{\overline{h}L_c}{k} = 0{,}27Ra_{L_c}^{1/4}$ con $10^5 \le Ra_{Lc} \le 10^{10}$	$\overline{q''} = \overline{h}(T_s - T_\infty)$ $q = \overline{h}A_s(T_s - T_\infty)$	$T_s > T_\infty$ $T_s < T_\infty$	Placa horizontal con $T_s = cte$. Superficie inferior de placa caliente o superior de placa fría. Correlación promedio. Longitud característica definida como el cociente entre el área y el perímetro de la placa: $L_c = A_s / P$.
7	$\overline{Nu}_D = \frac{\overline{h}D}{k} = \left\{0{,}60 + \frac{0{,}387Ra_D^{1/6}}{[1 + (0{,}559/Pr)^{9/16}]^{8/27}}\right\}^2$	$\overline{q''} = \overline{h}(T_s - T_\infty)$ $q = \overline{h}A_s(T_s - T_\infty)$	$T_s > T_\infty$	Correlación de Churchill y Chu (promedio) para la convección libre sobre un cilindro largo horizontal: con $Ra_D \le 10^{12}$.

$Gr_x = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)x^3}{\nu^2} = \frac{Ra_x}{Pr}$; $Ra_L = Gr_L Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha}$; $Ra_D = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)D^3}{\nu\alpha}$; Propiedades calculadas a $T_f = (T_s + T_\infty)/2$; Correlaciones 1 a 3: válidas para $q''_s = cte$ si propiedades, $\overline{Nu}_L$ y Ra_L se definen en función de la temperatura en el punto medio de la placa: $T_f = (T_s(L/2) + T_\infty)/2$; $\Delta T_{L/2} = T_s(L/2) - T_\infty \Rightarrow \overline{h} = q''_s / \Delta T_{L/2} \Rightarrow \Delta T_x = T_s(x) - T_\infty \approx 1{,}15(x/L)^{1/3}\Delta T_{L/2}$; Correlaciones 1 a 3: válidas para cilindros verticales de altura L si el espesor de la capa límite, δ, es mucho menor que el diámetro del cilindro $\Rightarrow (D/L) \ge (35/Gr_L^{1/4})$; Para placas inclinadas (superficie superior de placa fría o superficie inferior de placa caliente) se pueden emplear las correlaciones 1 a 3 sustituyendo g por $g\cdot\cos(\theta)$ para $0° \le \theta \le 60°$ (θ se mide desde la vertical).

Anexo 2:

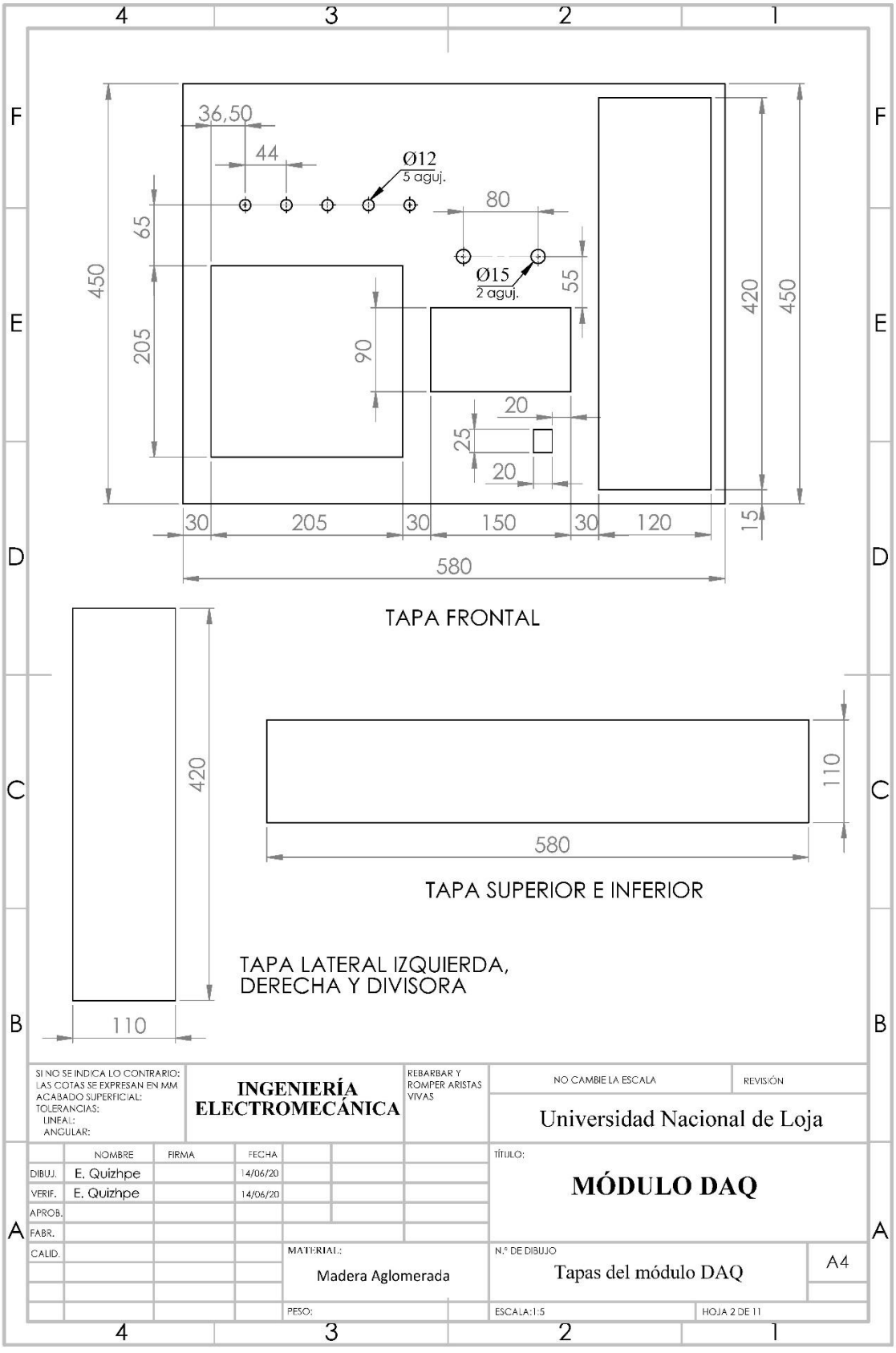
Planos del módulo DAQ

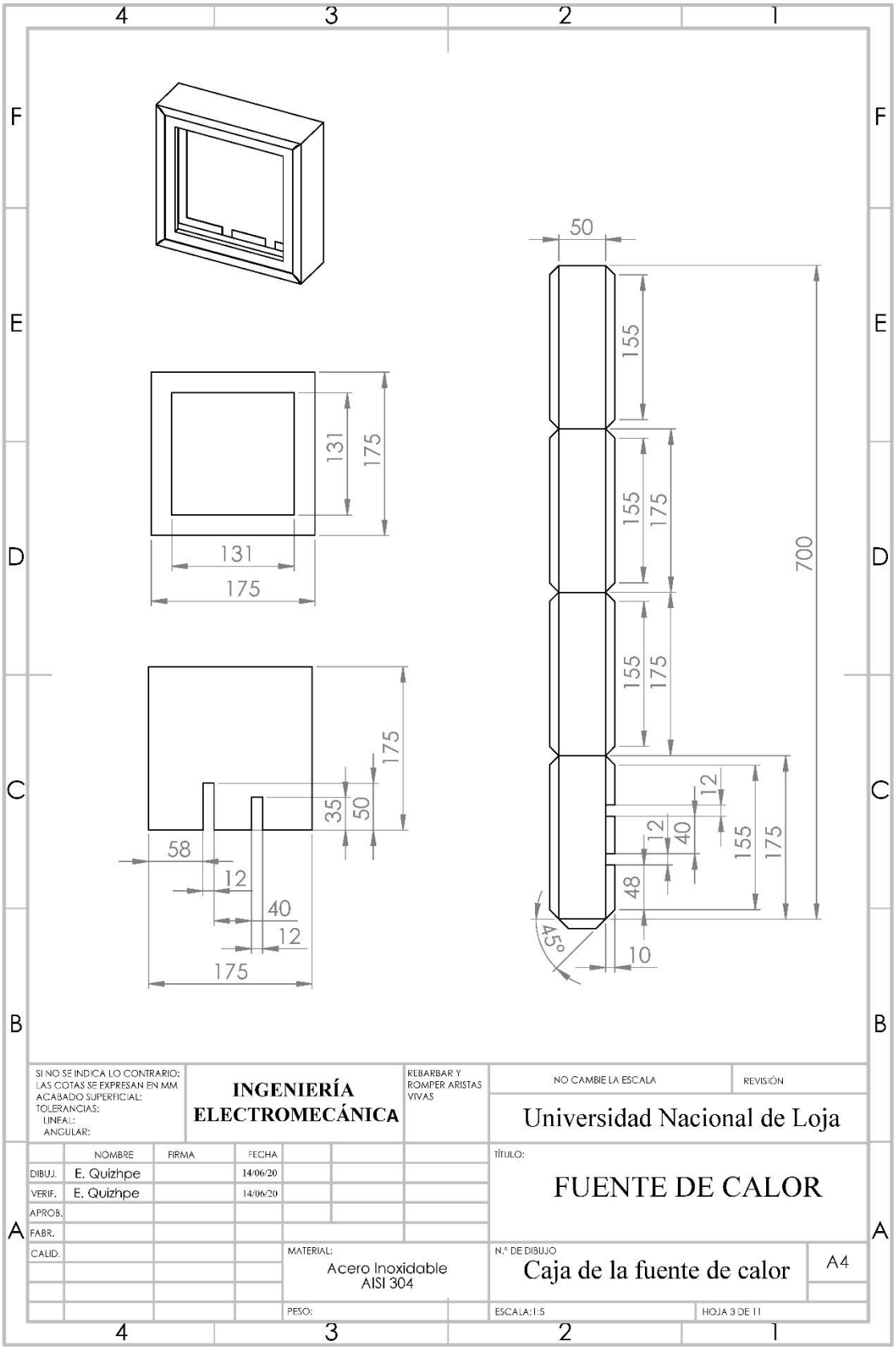


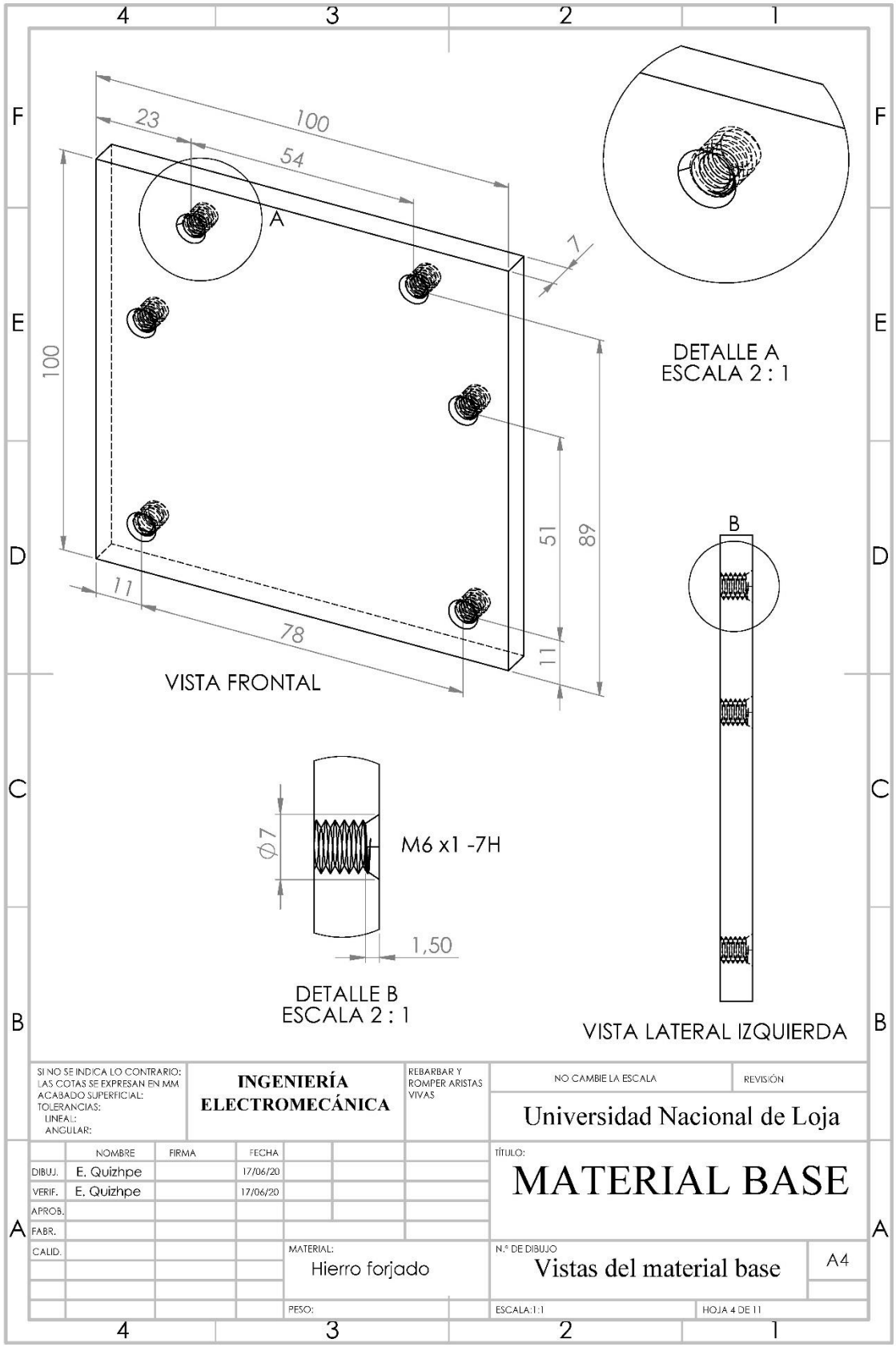
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	**INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN	
			Universidad Nacional de Loja		

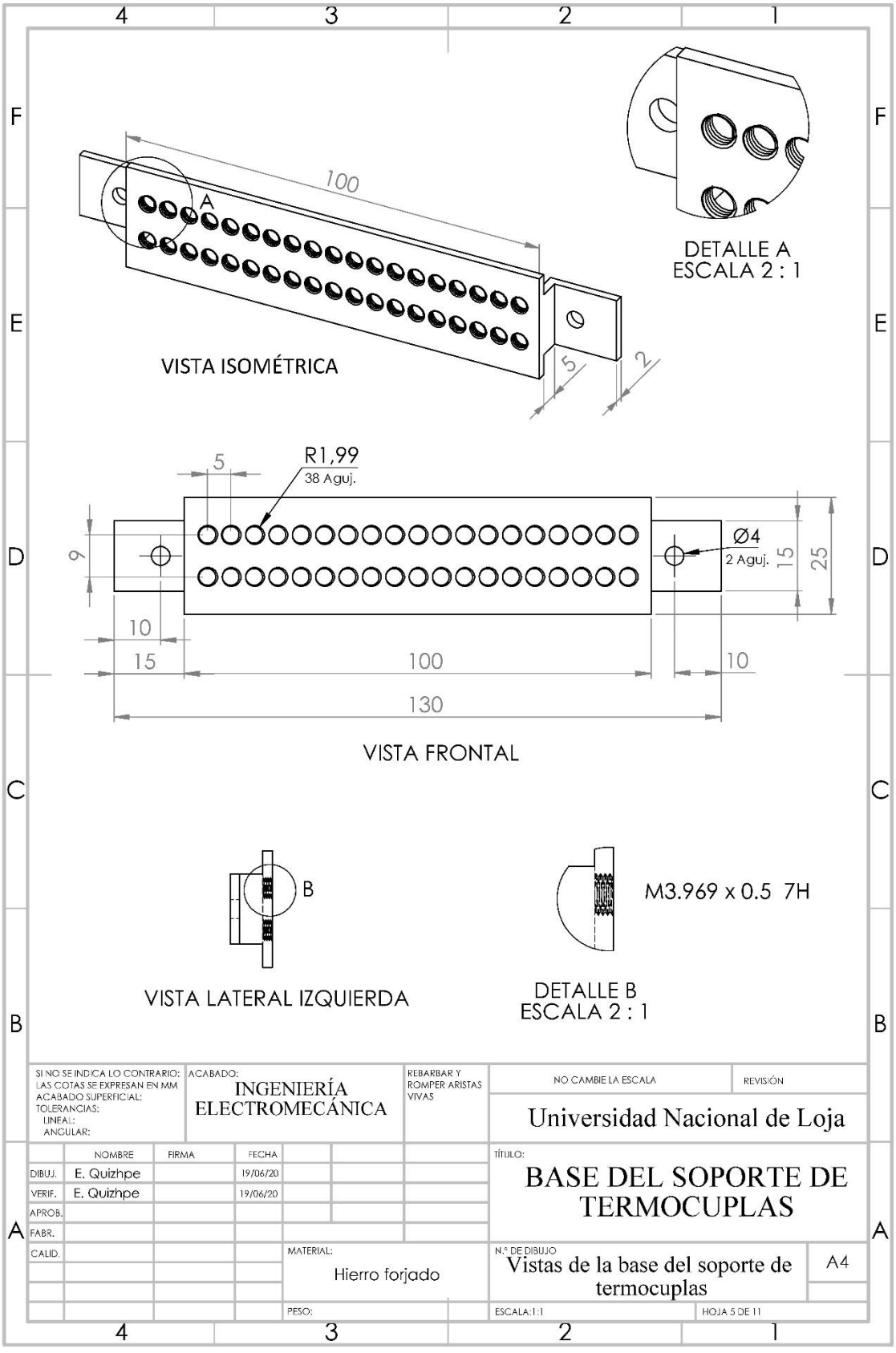
	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	E. Quizhpe		14/06/20
VERIF.	E. Quizhpe		14/06/20
APROB.			
FABR.			
CALID.			

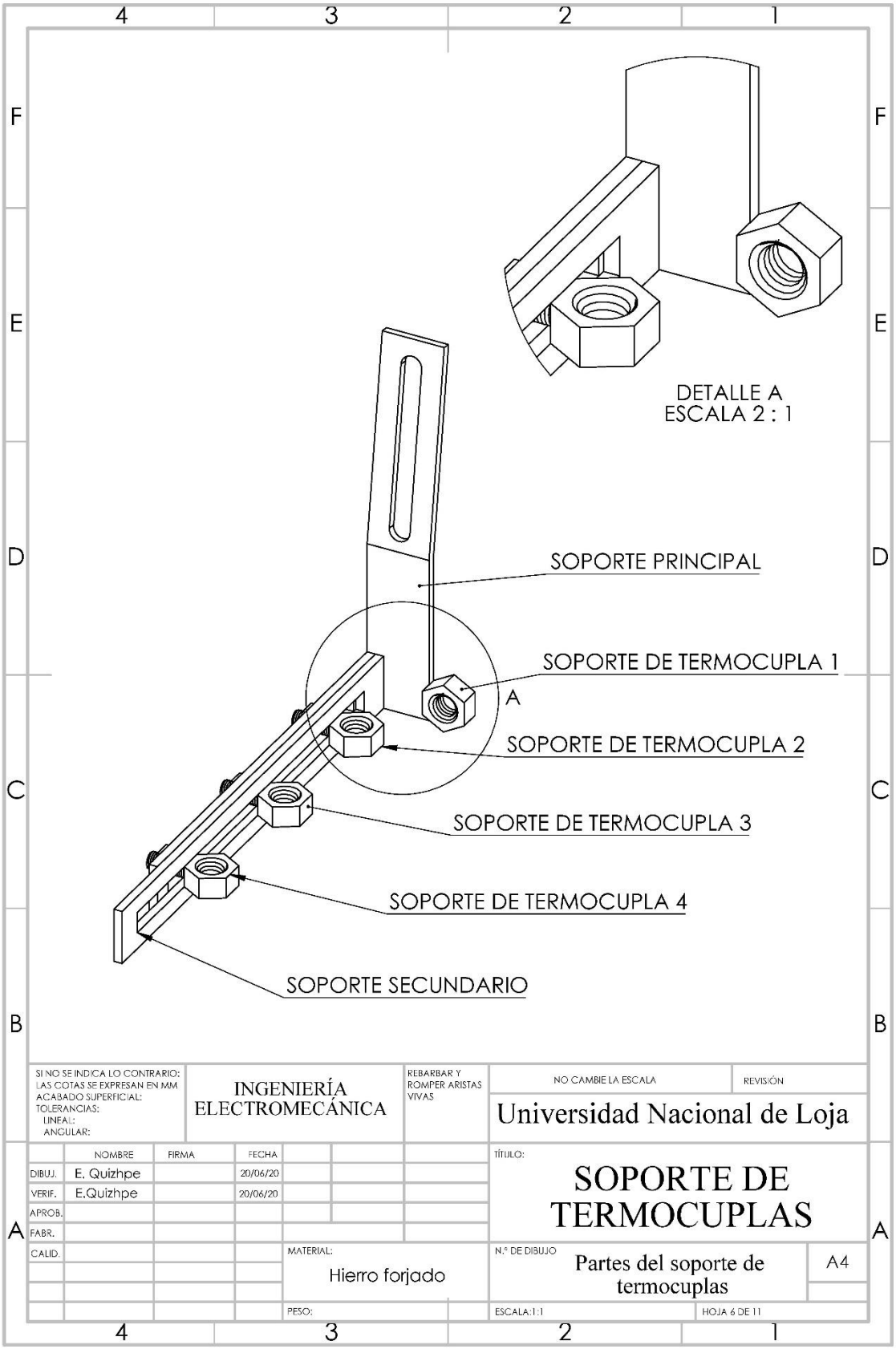
TÍTULO: MÓDULO DAQ		
MATERIAL: Materiales varios	N.º DE DIBUJO: Partes del módulo DAQ	A4
PESO:	ESCALA:1:5	HOJA 1 DE 11


4
3
2
1
F
E
D
C
B
A
36,50
44
Ø12
5 aguj.
80
65
450
205
90
Ø15
2 aguj.
55
420
450
20
25
20
30
205
30
150
30
120
15
580
TAPA FRONTAL
420
110
580
TAPA SUPERIOR E INFERIOR
TAPA LATERAL IZQUIERDA,
DERECHA Y DIVISORA
110
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:
INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS
NO CAMBIE LA ESCALA
REVISIÓN
Universidad Nacional de Loja
NOMBRE
FIRMA
FECHA
DIBUJ. E. Quizhpe 14/06/20
VERIF. E. Quizhpe 14/06/20
APROB.
FABR.
CALID.
TÍTULO:
MÓDULO DAQ
MATERIAL:
Madera Aglomerada
N.° DE DIBUJO
Tapas del módulo DAQ
A4
PESO:
ESCALA:1:5
HOJA 2 DE 11


4
3
2
1
F
E
D
C
B
A
50
155
155
175
155
175
155
175
700
131
175
131
175
175
35
50
58
12
40
12
175
12
12
40
155
175
48
45°
10
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:
INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS
NO CAMBIE LA ESCALA
REVISIÓN
Universidad Nacional de Loja
NOMBRE
FIRMA
FECHA
DIBUJ. E. Quizhpe 14/06/20
VERIF. E. Quizhpe 14/06/20
APROB.
FABR.
CALID.
TÍTULO:
FUENTE DE CALOR
MATERIAL:
Acero Inoxidable AISI 304
N.° DE DIBUJO
Caja de la fuente de calor
A4
PESO:
ESCALA:1:5
HOJA 3 DE 11


4
3
2
1
F
E
D
C
B
A
23
100
54
A
7
100
51
89
11
78
11
VISTA FRONTAL
DETALLE A
ESCALA 2 : 1
B
ϕ7
M6 x1 -7H
1,50
DETALLE B
ESCALA 2 : 1
VISTA LATERAL IZQUIERDA
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:
INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS
NO CAMBIE LA ESCALA
REVISIÓN
Universidad Nacional de Loja
NOMBRE
FIRMA
FECHA
DIBUJ. E. Quizhpe 17/06/20
VERIF. E. Quizhpe 17/06/20
APROB.
FABR.
CALID.
TÍTULO:
MATERIAL BASE
MATERIAL:
Hierro forjado
N.° DE DIBUJO
Vistas del material base
A4
PESO:
ESCALA:1:1
HOJA 4 DE 11


4
3
2
1
F
E
D
C
B
A
100
A
VISTA ISOMÉTRICA
5
2
DETALLE A
ESCALA 2 : 1
5
R1,99
38 Aguj.
9
Ø4
2 Aguj.
15
25
10
15
100
10
130
VISTA FRONTAL
B
VISTA LATERAL IZQUIERDA
M3.969 x 0.5 7H
DETALLE B
ESCALA 2 : 1
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:
ACABADO:
INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS
NO CAMBIE LA ESCALA
REVISIÓN
Universidad Nacional de Loja
NOMBRE
FIRMA
FECHA
DIBUJ. E. Quizhpe 19/06/20
VERIF. E. Quizhpe 19/06/20
APROB.
FABR.
CALID.
TÍTULO:
BASE DEL SOPORTE DE TERMOCUPLAS
MATERIAL:
Hierro forjado
N.° DE DIBUJO
Vistas de la base del soporte de termocuplas
A4
PESO:
ESCALA:1:1
HOJA 5 DE 11

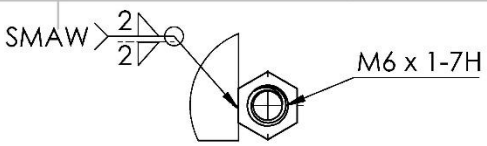


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN	
			Universidad Nacional de Loja		

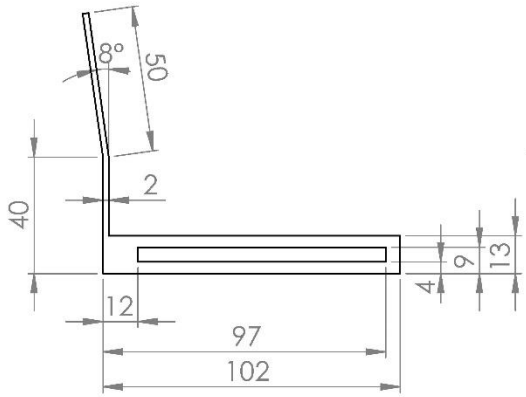
	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	E. Quizhpe		20/06/20
VERIF.	E.Quizhpe		20/06/20
APROB.			
FABR.			
CALID.			

MATERIAL: Hierro forjado		TÍTULO: SOPORTE DE TERMOCUPLAS	
PESO:		N.° DE DIBUJO: Partes del soporte de termocuplas	A4
		ESCALA:1:1	HOJA 6 DE 11

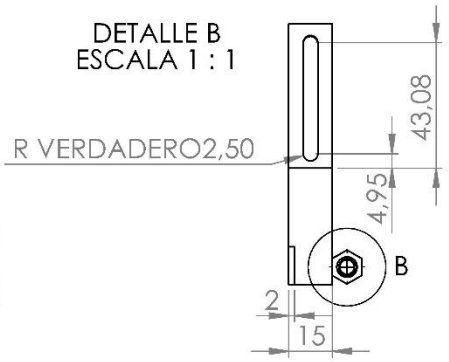
SOPORTE PRINCIPAL



DETALLE B
ESCALA 1 : 1

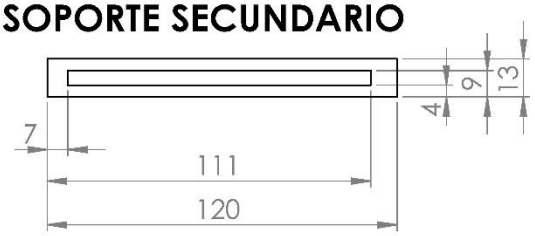


VISTA LATERAL IZQUIERDA



VISTA FRONTAL

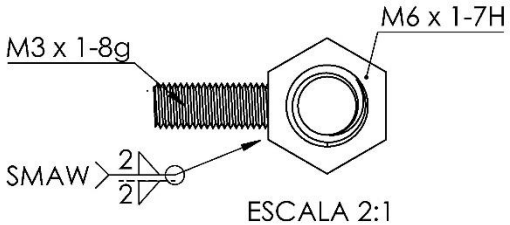
SOPORTE SECUNDARIO



VISTA LATERAL IZQUIERDA

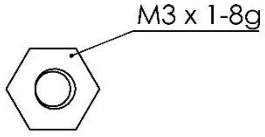
VISTA FRONTAL

SOPORTE DE TERMOCUPLAS



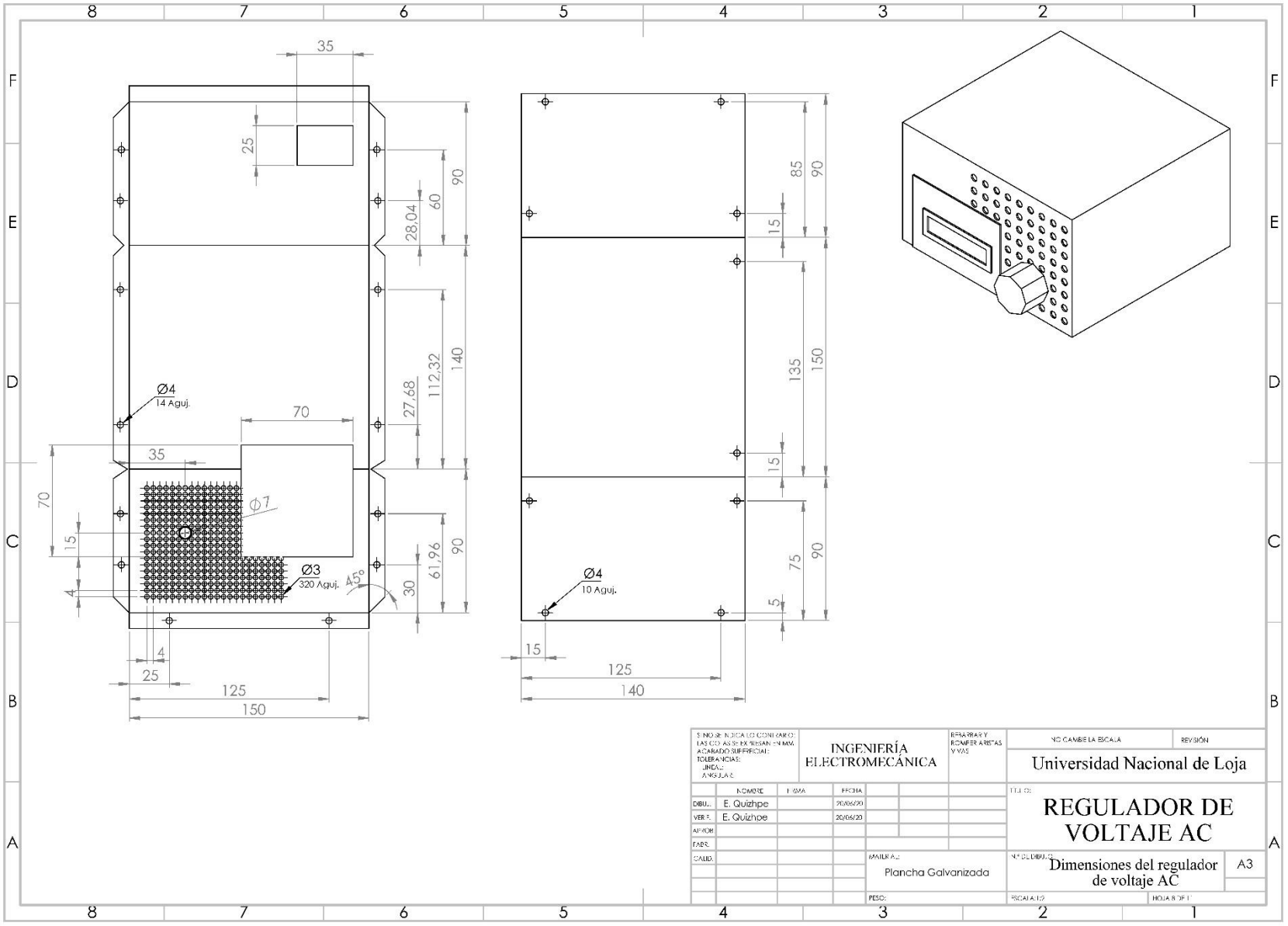
ESCALA 2:1

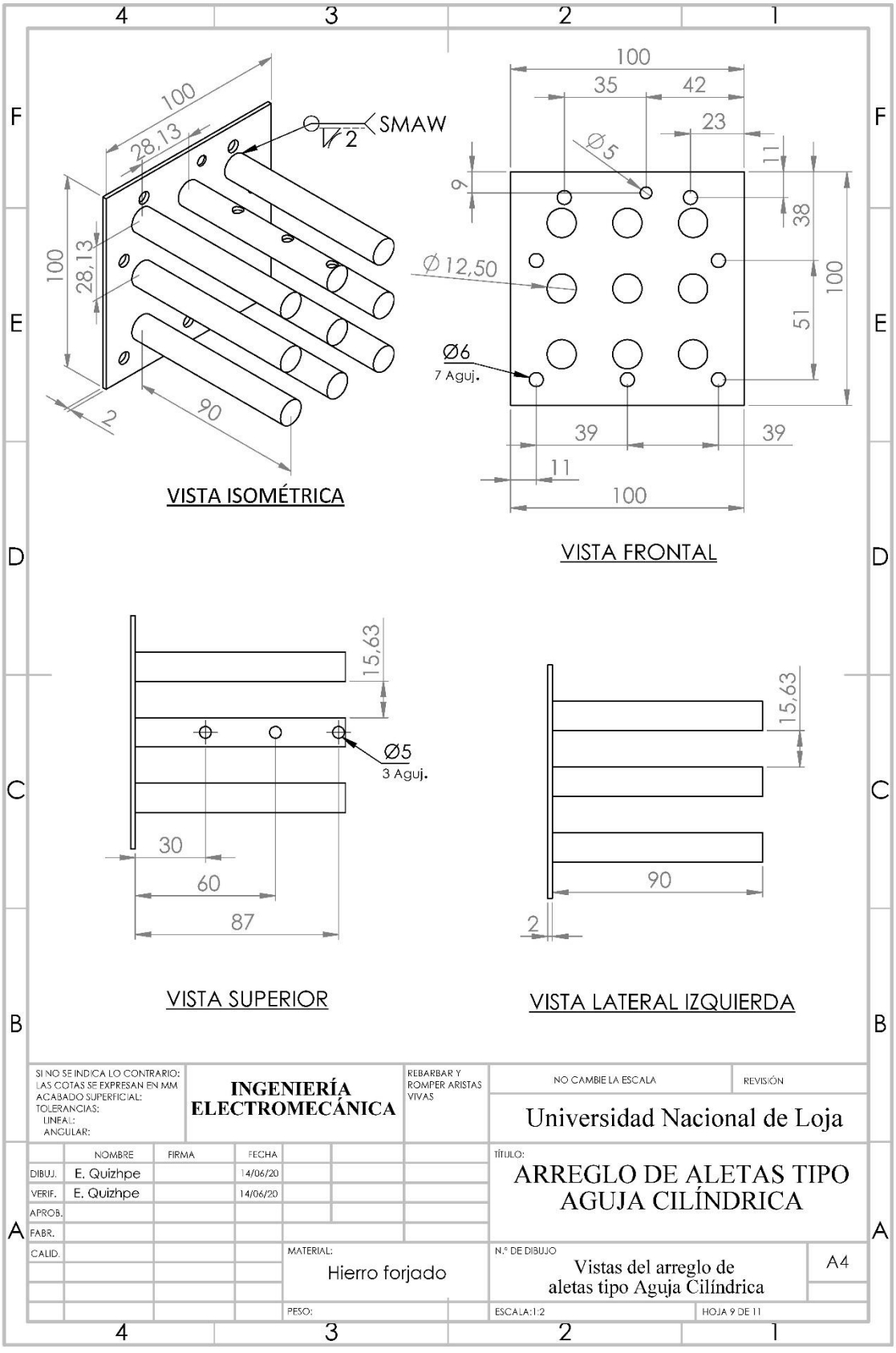
TUERCA DE SUJECIÓN PARA SOPORTE DE TERMOCUPLAS

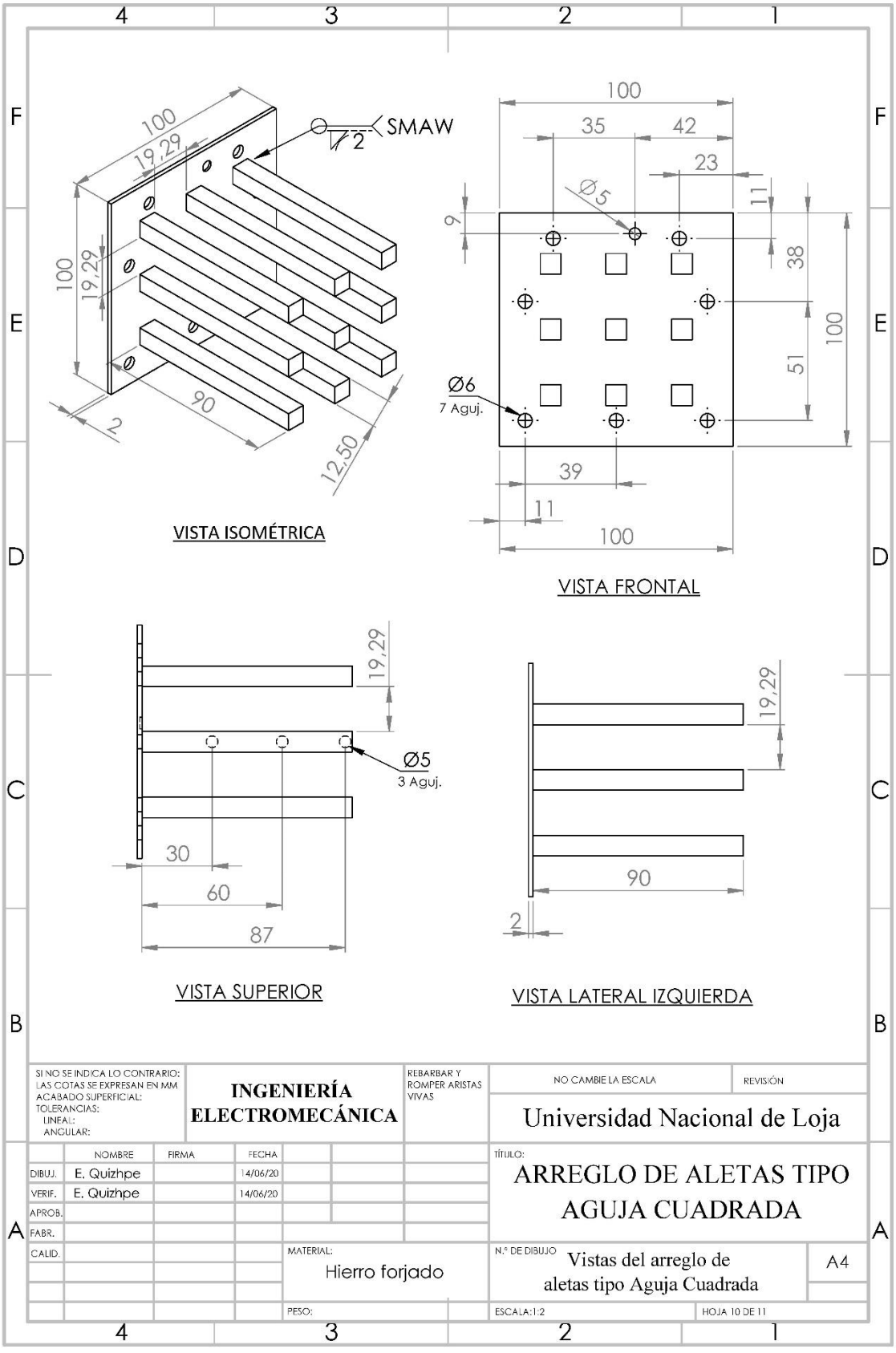


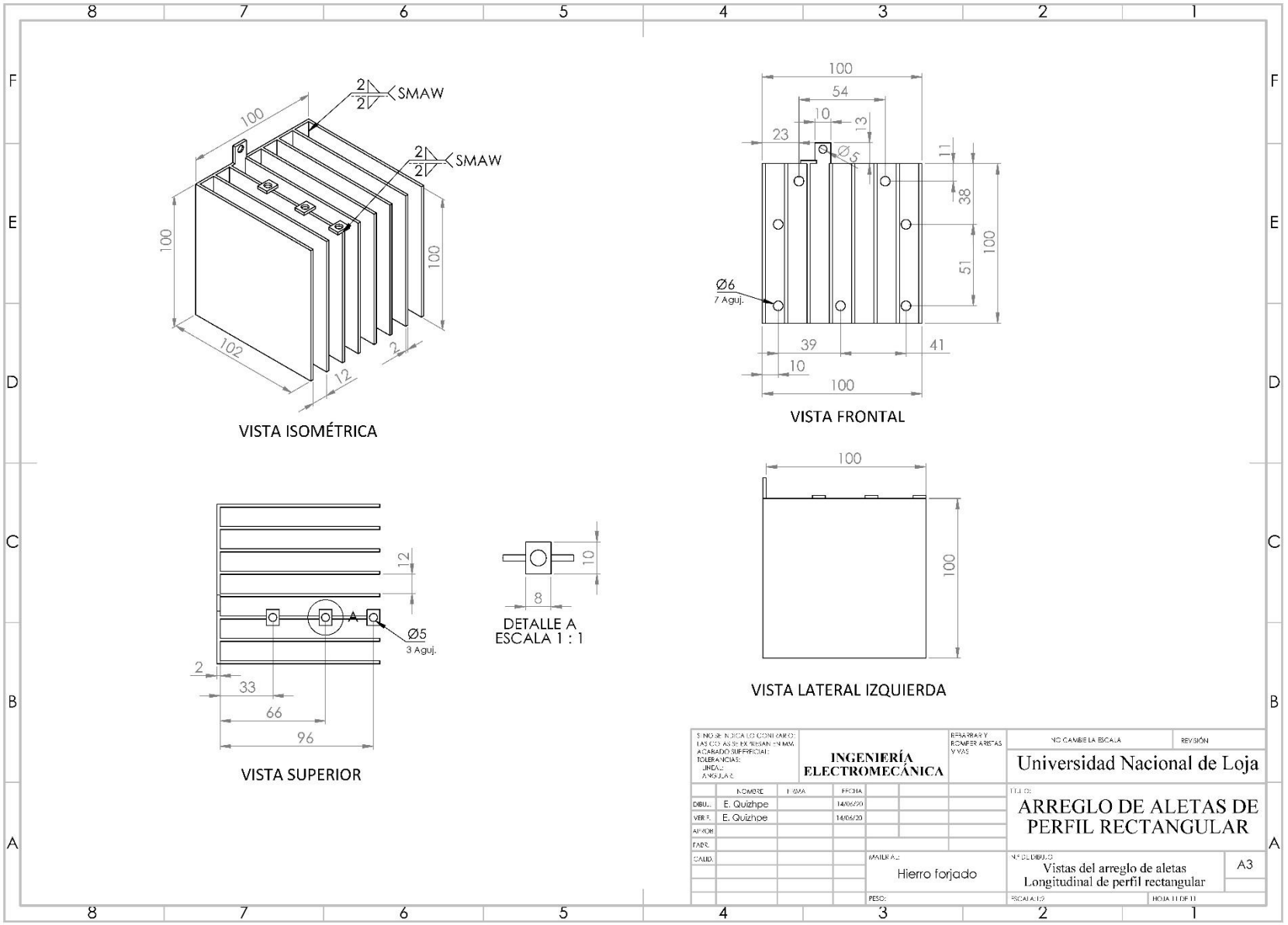
ESCALA 2:1

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO: INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN	
			Universidad Nacional de Loja		
	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.	E. Quizhpe		20/06/20	TÍTULO: SOPORTE DE TERMOCUPLAS	
VERIF.	E. Quizhpe		20/06/20		
APROB.					
FABR.					
CALID.					
	MATERIAL: Hierro forjado			N.° DE DIBUJO: Dimensiones del soporte de termocuplas	A4
	PESO:			ESCALA:1:2	HOJA 7 DE 11


35
25
90
60
28,04
140
112,32
27,68
Ø4
14 Aguj.
70
35
70
15
4
Ø7
Ø3
320 Aguj.
45°
90
61,96
30
4
25
125
150
85
90
15
135
150
15
75
90
5
Ø4
10 Aguj.
15
125
140
INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA
Universidad Nacional de Loja
REGULADOR DE VOLTAJE AC
Dimensiones del regulador de voltaje AC
A3
E. Quizhpe
20/06/20
Plancha Galvanizada


100
28,13
100
28,13
2
90
SMAW
2
VISTA ISOMÉTRICA
100
35
42
23
Ø5
11
9
38
Ø12,50
100
51
Ø6
7 Aguj.
39
39
11
100
VISTA FRONTAL
15,63
Ø5
3 Aguj.
30
60
87
VISTA SUPERIOR
15,63
90
2
VISTA LATERAL IZQUIERDA
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:
INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS
NO CAMBIE LA ESCALA
REVISIÓN
Universidad Nacional de Loja
NOMBRE
FIRMA
FECHA
DIBUJ. E. Quizhpe 14/06/20
VERIF. E. Quizhpe 14/06/20
APROB.
FABR.
CALID.
TÍTULO:
ARREGLO DE ALETAS TIPO AGUJA CILÍNDRICA
MATERIAL:
Hierro forjado
PESO:
N.° DE DIBUJO
Vistas del arreglo de aletas tipo Aguja Cilíndrica
A4
ESCALA:1:2
HOJA 9 DE 11


SMAW
2
100
19,29
100
19,29
90
2
12,50
VISTA ISOMÉTRICA
100
35
42
23
11
9
Ø5
38
100
51
Ø6
7 Aguj.
39
11
100
VISTA FRONTAL
19,29
Ø5
3 Aguj.
30
60
87
VISTA SUPERIOR
19,29
90
2
VISTA LATERAL IZQUIERDA
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:
INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS
NO CAMBIE LA ESCALA
REVISIÓN
Universidad Nacional de Loja
NOMBRE
FIRMA
FECHA
DIBUJ. E. Quizhpe 14/06/20
VERIF. E. Quizhpe 14/06/20
APROB.
FABR.
CALID.
TÍTULO:
ARREGLO DE ALETAS TIPO AGUJA CUADRADA
MATERIAL:
Hierro forjado
N.° DE DIBUJO
Vistas del arreglo de aletas tipo Aguja Cuadrada
A4
PESO:
ESCALA:1:2
HOJA 10 DE 11


SMAW
SMAW
100
100
100
102
12
2
VISTA ISOMÉTRICA
100
54
10
13
23
Ø5
11
38
100
51
Ø6
7 Aguj.
39
41
10
100
VISTA FRONTAL
12
A
Ø5
3 Aguj.
2
33
66
96
VISTA SUPERIOR
10
8
DETALLE A
ESCALA 1 : 1
100
100
VISTA LATERAL IZQUIERDA
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:
INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA
ROMPER ARISTAS Y VAS
NO CAMBIE LA ESCALA
REVISIÓN
Universidad Nacional de Loja
NOMBRE
FIRMA
FECHA
DIBU.
E. Quizhpe
14/06/20
VER.
E. Quizhpe
14/06/20
APROB.
FABR.
CALID.
MATERIAL:
Hierro forjado
PESO:
TÍTULO:
ARREGLO DE ALETAS DE PERFIL RECTANGULAR
Nº DE DIBUJO
Vistas del arreglo de aletas
Longitudinal de perfil rectangular
A3
ESCALA 1:2
HOJA 11 DE 11

Anexo 3:

Tablas de estabilización de los arreglos de aletas construidos

Arreglo de aletas longitudinales de perfil rectangular			
Voltaje	**Temperatura de la fuente (°C)**	**Tiempo de estabilización (min)**	**Temperatura en la base (°C)**
10 V	46	40	36,044
15 V	70	35	48,793
20 V	93	40	62,540

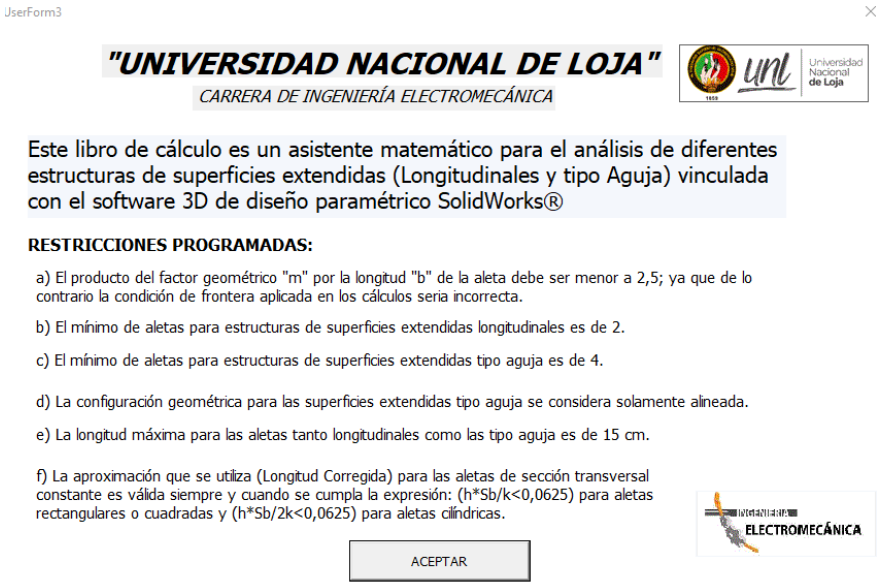
Arreglo de aletas tipo aguja cilíndrica			
Voltaje	**Temperatura de la fuente (°C)**	**Tiempo de estabilización (min)**	**Temperatura en la base (°C)**
10 V	50	60	46,043
15 V	75	40	66,041
20 V	100	45	83,540

Arreglo de aletas tipo aguja cuadrada			
Voltaje	**Temperatura de la fuente (°C)**	**Tiempo de estabilización (min)**	**Temperatura en la base (°C)**
10 V	50	60	45,793
15 V	75	40	65,790
20 V	100	45	85,289

Anexo 4:

Programación Visual Basic (Microsoft Excel®)

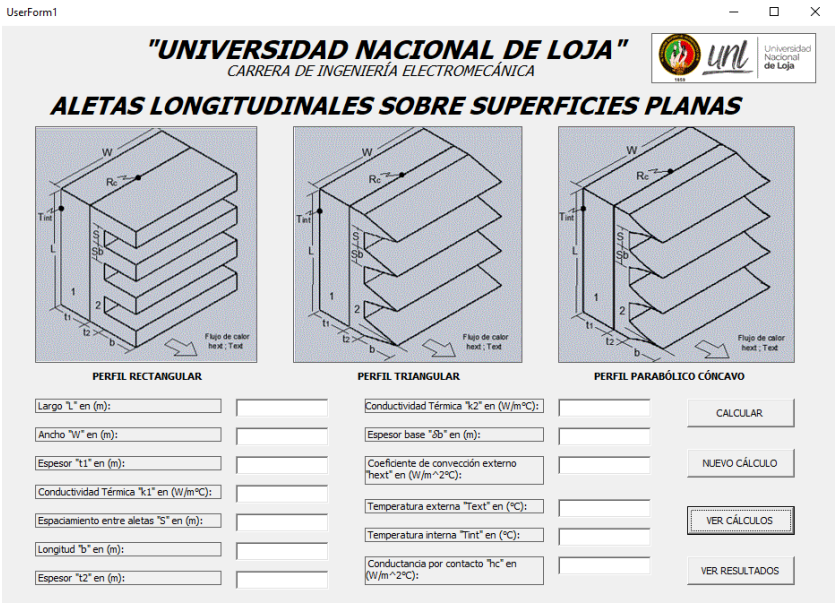
Programación de la Interfaz de presentación




```
Rem Programación del botón "ACEPTAR"
Private Sub CommandButton1_Click()
Unload Me
End Sub
```

```
Rem Programación del Módulo 1 para la ejecución de la macro
Sub Bienvenido()
UserForm3.Show 0
End Sub
```

Programación de la interfaz para las aletas longitudinales



```
Rem Programación de los botones de minimizado y maximizado (1)
Option Explicit
Dim Lg As Single
Dim Ht As Single
Dim Fini As Boolean
Dim Handle As Long
Private Declare PtrSafe Function FindWindowA& Lib "User32" (ByVal lpClassName$, ByVal
lpWindowName$)
Private Declare PtrSafe Function GetWindowLongA& Lib "User32" (ByVal hWnd&, ByVal
nIndex&)
Private Declare PtrSafe Function SetWindowLongA& Lib "User32" (ByVal hWnd&, ByVal
nIndex&, ByVal dwNewLong&)

Rem Déclaration de constantes
Private Const GWL_STYLE As Long = -16
Private Const WS_MINIMIZEBOX = &H20000
Private Const WS_MAXIMIZEBOX = &H10000
Private Const WS_FULLSIZING = &H70000
Private Declare PtrSafe Function ShowWindow Lib "User32" (ByVal hWnd As Long, ByVal
nCmdShow As Long) As Long
Const vbMnimizedNoFocus = 6
```

```
Rem Programación de los botones de minimizado y maximizado (2)
Private Sub UserForm_Initialize()
Dim i As Integer, L As Integer, TB

    InitMaxMin Me.Caption
    Ht = Me.Height
    Lg = Me.Width

    Application.WindowState = xlMaximized

    Me.Left = Application.Top
    Me.Top = Application.Top
End Sub
```

```
Rem Programación de los botones de minimizado y maximizado (3)
Public Sub InitMaxMin(mCaption As String, Optional Max As Boolean = True, Optional Min
As Boolean = True, Optional Sizing As Boolean = True)
Dim hWnd As Long
hWnd = FindWindowA(vbNullString, mCaption)
      If Max Then SetWindowLongA hWnd, GWL_STYLE, GetWindowLongA(hWnd,    GWL_STYLE)
      Or WS_MAXIMIZEBOX
      If Min Then SetWindowLongA hWnd, GWL_STYLE, GetWindowLongA(hWnd, GWL_STYLE) Or
      WS_MINIMIZEBOX
      If Sizing Then SetWindowLongA hWnd, GWL_STYLE, GetWindowLongA(hWnd, GWL_STYLE)
      Or WS_FULLSIZING
Handle = FindWindowA(vbNullString, mCaption)
End Sub
```

```
Rem Programación del botón “CALCULAR”
Private Sub CommandButton3_Click()
INFORMACION
End Sub
```

```
Sub INFORMACION()
Rem Declaración de variables
Dim contFila As Long
Dim num1, num2, num3, num4, num5, num6 As Double
Dim hoja As Worksheet
Set hoja = Worksheets(1)
Sheets("PRINCIPAL").Select
Range("C9").Select
num1 = Val(ESPESOR_BASE)
num2 = Val(ESPACIAMIENTO)
num3 = Val(LARGO_SUPERFICIE)
num4 = Val(LONGITUD1)
num5 = Val(HEXT)
num6 = Val(CONDUCTIVIDAD1)

Rem validamos que todos los campos estén llenos
      If  Trim$(ESPACIAMIENTO.Text)  =  Empty  Or  Trim$(LONGITUD1.Text)  =  Empty  Or
      Trim$(ESPESOR1.Text)  =  Empty  Or  Trim$(CONDUCTIVIDAD1.Text)  =  Empty  Or
      Trim$(ESPESOR_BASE.Text)  =  Empty  Or  Trim$(CONDUCTIVIDAD2.Text)  =  Empty  Or
      Trim$(LARGO_SUPERFICIE.Text)  =  Empty  Or  Trim$(ANCHO.Text)  =  Empty  Or
      Trim$(ESPESOR2.Text) = Empty Or Trim$(HEXT.Text) = Empty Or Trim$(TEXTE.Text) =
      Empty Or Trim$(TINT.Text) = Empty Or Trim$(HC.Text) = Empty Then
      MsgBox "Por favor ingrese todos los datos", vbCritical, "Datos incompletos"
      ElseIf num3 <= ((2 * num1) + num2) Then
      MsgBox "No se cumple la igualdad (2Sb+S)>= L", vbCritical, "DATOS ERRONEOS"
      ElseIf num4 > 0.15 Then
      MsgBox "Longitud de la aleta mayor a 15 cm", vbCritical, "DATOS ERRONEOS"
      ElseIf ((((2 * num5) / (num6 * num1)) ^ (1 / 2)) * num4) >= 2.5 Then
      MsgBox "Cálculos erroneos: m*b>2.5", vbCritical, "  Aleta infinitamente larga"
      ElseIf ((((2 * num5) / (num6 * num1)) ^ (1 / 2)) * num4) <= 2.5 Then
      Range("B92") = Me.ESPACIAMIENTO.Value
      Range("B93") = Me.LONGITUD1.Value
      Range("B94") = Me.ESPESOR1.Value
      Range("B95") = Me.CONDUCTIVIDAD1.Value
      Range("B96") = Me.ESPESOR_BASE.Value
      Range("B84") = Me.LARGO_SUPERFICIE.Value
      Range("B85") = Me.ANCHO.Value
      Range("B86") = Me.ESPESOR2.Value
      Range("B87") = Me.CONDUCTIVIDAD2.Value
      Range("B100") = Me.HEXT.Value
      Range("B102") = Me.TEXTE.Value
      Range("B101") = Me.TINT.Value
      Range("B103") = Me.HC.Value
      End If
End Sub
```

```
Rem Programación del botón “NUEVO CÁLCULO”
Private Sub CommandButton4_Click()
ESPACIAMIENTO.Text = ""
LONGITUD1.Text = ""
ESPESOR1.Text = ""
CONDUCTIVIDAD1.Text = ""
ESPESOR_BASE.Text = ""
LARGO_SUPERFICIE.Text = ""
ANCHO.Text = ""
```

```
ESPESOR2.Text = ""
CONDUCTIVIDAD2.Text = ""
HEXT.Text = ""
TEXTE.Text = ""
TINT.Text = ""
HC.Text = ""
End Sub
```

```
Rem Programación del botón “VER CÁLCULOS”
Private Sub CommandButton1_Click()
VERIFICACION
End Sub
```

```
Sub VERIFICACION()
Rem Declaracion de variables
Dim contFila As Long
Dim num1, num2, num3, num4, num5, num6 As Double
Dim hoja As Worksheet
Set hoja = Worksheets(1)
Sheets("PRINCIPAL").Select
Range("C9").Select
num1 = Val(ESPESOR_BASE)
num2 = Val(ESPACIAMIENTO)
num3 = Val(LARGO_SUPERFICIE)
num4 = Val(LONGITUD1)
num5 = Val(HEXT)
num6 = Val(CONDUCTIVIDAD1)

Rem validamos que todos los campos esten llenos
      If Trim$(ESPACIAMIENTO.Text) = Empty Or Trim$(LONGITUD1.Text) = Empty Or
      Trim$(ESPESOR1.Text) = Empty Or Trim$(CONDUCTIVIDAD1.Text) = Empty Or
      Trim$(ESPESOR_BASE.Text) = Empty Or Trim$(CONDUCTIVIDAD2.Text) = Empty Or
      Trim$(LARGO_SUPERFICIE.Text) = Empty Or Trim$(ANCHO.Text) = Empty Or
      Trim$(ESPESOR2.Text) = Empty Or Trim$(HEXT.Text) = Empty Or Trim$(TEXTE.Text) =
      Empty Or Trim$(TINT.Text) = Empty Or Trim$(HC.Text) = Empty Then
      MsgBox "No se han ingresado datos nuevos", vbCritical, "Cálculos realizados
      anteriormente"
      Sheets("CALCULOS_LON").Select
      Range("A2").Select
      ShowWindow Handle, vbMinimizedNoFocus
      ElseIf num3 <= ((2 * num1) + num2) Then
      MsgBox "No se cumple la igualdad (2Sb+S)>= L", vbCritical, "DATOS ERRONEOS"
      ElseIf num4 > 0.15 Then
      MsgBox "Longitud de la aleta mayor a 15 cm", vbCritical, "DATOS ERRONEOS"
      ElseIf ((((2 * num5) / (num6 * num1)) ^ (1 / 2)) * num4) >= 2.5 Then
      MsgBox "Cálculos erroneos: m*b>2.5", vbCritical, "  Aleta infinitamente larga"
      ElseIf ((((2 * num5) / (num6 * num1)) ^ (1 / 2)) * num4) <= 2.5 Then
      Sheets("CALCULOS_LON").Select
      Range("A2").Select
      ShowWindow Handle, vbMinimizedNoFocus
      End If
End Sub
```

```
Rem Programación del botón “VER RESULTADOS”
Private Sub CommandButton2_Click()
VERIFICACION_1
End Sub
```

```
Sub VERIFICACION_1()
Rem Declaración de variables
Dim contFila As Long
Dim num1, num2, num3, num4, num5, num6 As Double
Dim hoja As Worksheet
Set hoja = Worksheets(1)
Sheets("PRINCIPAL").Select
Range("C9").Select
num1 = Val(ESPESOR_BASE)
num2 = Val(ESPACIAMIENTO)
num3 = Val(LARGO_SUPERFICIE)
num4 = Val(LONGITUD1)
num5 = Val(HEXT)
num6 = Val(CONDUCTIVIDAD1)

Rem validamos que todos los campos esten llenos
      If Trim$(ESPACIAMIENTO.Text) = Empty Or Trim$(LONGITUD1.Text) = Empty Or
      Trim$(ESPESOR1.Text) = Empty Or Trim$(CONDUCTIVIDAD1.Text) = Empty Or
      Trim$(ESPESOR_BASE.Text) = Empty Or Trim$(CONDUCTIVIDAD2.Text) = Empty Or
      Trim$(LARGO_SUPERFICIE.Text) = Empty Or Trim$(ANCHO.Text) = Empty Or
      Trim$(ESPESOR2.Text) = Empty Or Trim$(HEXT.Text) = Empty Or Trim$(TEXTE.Text) =
      Empty Or Trim$(TINT.Text) = Empty Or Trim$(HC.Text) = Empty Then
      MsgBox "No se han ingresado datos nuevos", vbCritical, "Resultados obtenidos
      anteriormente"
      Sheets("RESULTADOS_1").Select
      Range("H7").Select
      ShowWindow Handle, vbMinimizedNoFocus
      ElseIf num3 <= ((2 * num1) + num2) Then
      MsgBox "No se cumple la igualdad (2Sb+S)>= L", vbCritical, "DATOS ERRONEOS"
      ElseIf num4 > 0.15 Then
      MsgBox "Longitud de la aleta mayor a 15 cm", vbCritical, "DATOS ERRONEOS"
      ElseIf ((((2 * num5) / (num6 * num1)) ^ (1 / 2)) * num4) >= 2.5 Then
      MsgBox "Cálculos erroneos: m*b>2.5", vbCritical, "  Aleta infinitamente larga"
      ElseIf ((((2 * num5) / (num6 * num1)) ^ (1 / 2)) * num4) <= 2.5 Then
      Sheets("RESULTADOS_1").Select
      Range("H7").Select
      ShowWindow Handle, vbMinimizedNoFocus
      End If
End Sub
```

```
Rem Bloquear letras
Private Sub ESPACIAMIENTO_KeyPress(ByVal KeyAscii As MSForms.ReturnInteger)
      If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57 Or KeyAscii = 46) Then
      KeyAscii = 0
      End If
End Sub
```

```
Rem Bloquear letras
Private Sub LONGITUD1_KeyPress(ByVal KeyAscii As MSForms.ReturnInteger)
```

```
      If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57 Or KeyAscii = 46) Then
      KeyAscii = 0
      End If
End Sub
```

```
Rem Bloquear letras
Private Sub ESPESOR1_KeyPress(ByVal KeyAscii As MSForms.ReturnInteger)
      If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57 Or KeyAscii = 46) Then
      KeyAscii = 0
      End If
End Sub
```

```
Rem Bloquear letras
Private Sub CONDUCTIVIDAD1_KeyPress(ByVal KeyAscii As MSForms.ReturnInteger)
      If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57 Or KeyAscii = 46) Then
      KeyAscii = 0
      End If
End Sub
```

```
Rem Bloquear letras
Private Sub ESPESOR_BASE_KeyPress(ByVal KeyAscii As MSForms.ReturnInteger)
      If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57 Or KeyAscii = 46) Then
      KeyAscii = 0
      End If
End Sub
```

```
Rem Bloquear letras
Private Sub LARGO_SUPERFICIE_KeyPress(ByVal KeyAscii As MSForms.ReturnInteger)
      If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57 Or KeyAscii = 46) Then
      KeyAscii = 0
      End If
End Sub
```

```
Rem Bloquear letras
Private Sub ANCHO_KeyPress(ByVal KeyAscii As MSForms.ReturnInteger)
      If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57 Or KeyAscii = 46) Then
      KeyAscii = 0
      End If
End Sub
```

```
Rem Bloquear letras
Private Sub ESPESOR2_KeyPress(ByVal KeyAscii As MSForms.ReturnInteger)
      If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57 Or KeyAscii = 46) Then
      KeyAscii = 0
      End If
End Sub
```

```
Rem Bloquear letras
Private Sub CONDUCTIVIDAD2_KeyPress(ByVal KeyAscii As MSForms.ReturnInteger)
      If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57 Or KeyAscii = 46) Then
      KeyAscii = 0
      End If
End Sub
```

```
Rem Bloquear letras
Private Sub HEXT_KeyPress(ByVal KeyAscii As MSForms.ReturnInteger)
      If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57 Or KeyAscii = 46) Then
      KeyAscii = 0
      End If
End Sub
```

```
Rem Bloquear letras
Private Sub TEXTE_KeyPress(ByVal KeyAscii As MSForms.ReturnInteger)
      If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57 Or KeyAscii = 46) Then
      KeyAscii = 0
      End If
End Sub
```

```
Rem Bloquear letras
Private Sub TINT_KeyPress(ByVal KeyAscii As MSForms.ReturnInteger)
      If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57 Or KeyAscii = 46) Then
      KeyAscii = 0
      End If
End Sub
```

```
Rem Bloquear letras
Private Sub HC_KeyPress(ByVal KeyAscii As MSForms.ReturnInteger)
      If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57 Or KeyAscii = 46) Then
      KeyAscii = 0
      End If
End Sub
```

Programación de la interfaz para las aletas tipo aguja

```
Rem Programación de los botones de minimizado y maximizado (1)
Option Explicit
Dim Lg As Single
Dim Ht As Single
Dim Fini As Boolean
Dim Handle As Long
Private Declare PtrSafe Function FindWindowA& Lib "User32" (ByVal lpClassName$, ByVal
lpWindowName$)
Private Declare PtrSafe Function GetWindowLongA& Lib "User32" (ByVal hWnd&, ByVal
nIndex&)
Private Declare PtrSafe Function SetWindowLongA& Lib "User32" (ByVal hWnd&, ByVal
nIndex&, ByVal dwNewLong&)


Rem Déclaration de constantes
Private Const GWL_STYLE As Long = -16
Private Const WS_MINIMIZEBOX = &H20000
Private Const WS_MAXIMIZEBOX = &H10000
Private Const WS_FULLSIZING = &H70000
Private Declare PtrSafe Function ShowWindow Lib "User32" (ByVal hWnd As Long, ByVal
nCmdShow As Long) As Long
Const vbMnimizedNoFocus = 6
```

```
Rem Programación de los botones de minimizado y maximizado (2)
Private Sub UserForm_Initialize()
Dim i As Integer, L As Integer, TB

    InitMaxMin Me.Caption
    Ht = Me.Height
    Lg = Me.Width

    Application.WindowState = xlMaximized

    Me.Left = Application.Top
    Me.Top = Application.Top
End Sub
```

```
Rem Programación de los botones de minimizado y maximizado (3)
Public Sub InitMaxMin(mCaption As String, Optional Max As Boolean = True, Optional Min
As Boolean = True, Optional Sizing As Boolean = True)
Dim hWnd As Long
    hWnd = FindWindowA(vbNullString, mCaption)
    If Max Then SetWindowLongA hWnd, GWL_STYLE, GetWindowLongA(hWnd, GWL_STYLE) Or
WS_MAXIMIZEBOX
    If Min Then SetWindowLongA hWnd, GWL_STYLE, GetWindowLongA(hWnd, GWL_STYLE) Or
WS_MINIMIZEBOX
    If Sizing Then SetWindowLongA hWnd, GWL_STYLE, GetWindowLongA(hWnd, GWL_STYLE) Or
WS_FULLSIZING
Handle = FindWindowA(vbNullString, mCaption)
End Sub
```

```
Rem Programacion del boton “CALCULAR”
Private Sub CALCULAR_Click()
INFORMACION
```

```
End Sub
```

```
Sub INFORMACION()
Rem Declaración de variables
Dim contFila As Long
Dim num10, num11, num12, num13, num14, num15, num16, num17 As Double
Dim hoja As Worksheet
Set hoja = Worksheets(1)
Sheets("PRINCIPAL").Select
Range("C9").Select
num10 = Val(ANCHO)
num11 = Val(ESP_SX)
num12 = Val(DIAMETRO)
num13 = Val(LARGO)
num14 = Val(ESP_SY)
num15 = Val(COEF_EXT)
num16 = Val(COND_K2)
num17 = Val(LON_B)

      Rem validamos que todos los campos esten llenos
      If   Trim$(LARGO.Text)   =   Empty   Or   Trim$(ANCHO.Text)   =   Empty   Or
      Trim$(ESPESOR_T1.Text)   =   Empty   Or   Trim$(COND_K1.Text)   =   Empty   Or
      Trim$(ESP_SX.Text) = Empty Or Trim$(ESP_SY.Text) = Empty Or Trim$(LON_B.Text) =
      Empty  Or  Trim$(ESPESOR_T2.Text)  =  Empty  Or  Trim$(COND_K2.Text)  =  Empty  Or
      Trim$(DIAMETRO.Text)   =   Empty   Or   Trim$(COEF_EXT.Text)   =   Empty   Or
      Trim$(TEMP_EXT.Text)   =   Empty   Or   Trim$(TEMP_INT.Text)   =   Empty   Or
      Trim$(COND_HC.Text) = Empty Then
      MsgBox "Por favor ingrese todos los datos", vbCritical, "Datos incompletos"
      ElseIf num10 < ((3 * num11) + (2 * num12)) Then
      MsgBox "No se cumple la igualdad (2Sb+3Sx)>= W", vbCritical, "DATOS ERRONEOS"
      ElseIf num13 < ((3 * num14) + (2 * num12)) Then
      MsgBox "No se cumple la igualdad (2Sb+3Sy)>= L", vbCritical, "DATOS ERRONEOS"
      ElseIf num17 > 0.15 Then
      MsgBox "Longitud de la aleta mayor a 15 cm", vbCritical, "DATOS ERRONEOS"
      ElseIf ((((4 * num15) / (num16 * num12)) ^ (1 / 2)) * num17) >= 2.5 Then
      MsgBox "Cálculos erroneos: m*b>2.5", vbCritical, "  Aleta infinitamente larga"
      ElseIf ((((4 * num15) / (num16 * num12)) ^ (1 / 2)) * num17) <= 2.5 Then
      Range("B110") = Me.LARGO.Value
      Range("B111") = Me.ANCHO.Value
      Range("B112") = Me.ESPESOR_T1.Value
      Range("B113") = Me.COND_K1.Value
      Range("B118") = Me.ESP_SX.Value
      Range("B119") = Me.ESP_SY.Value
      Range("B120") = Me.LON_B.Value
      Range("B121") = Me.ESPESOR_T2.Value
      Range("B122") = Me.COND_K2.Value
      Range("B123") = Me.DIAMETRO.Value
      Range("B127") = Me.COEF_EXT.Value
      Range("B129") = Me.TEMP_EXT.Value
      Range("B128") = Me.TEMP_INT.Value
      Range("B130") = Me.COND_HC.Value
      End If
End Sub
```

```
Rem Programación del botón “NUEVO CÁLCULO”
Private Sub NUEVO_CÁLCULO_Click()
LARGO.Text = ""
ANCHO.Text = ""
ESPESOR_T1.Text = ""
COND_K1.Text = ""
ESP_SX.Text = ""
ESP_SY.Text = ""
LON_B.Text = ""
ESPESOR_T2.Text = ""
COND_K2.Text = ""
DIAMETRO.Text = ""
COEF_EXT.Text = ""
TEMP_EXT.Text = ""
TEMP_INT.Text = ""
COND_HC.Text = ""
End Sub
```

```
Rem Programación del botón “VER CÁLCULOS”
Private Sub VER_CÁLCULOS_Click()
VALIDACION
End Sub
```

```
Sub VALIDACION()
Rem Declaración de variables
Dim contFila As Long
Dim num10, num11, num12, num13, num14, num15, num16, num17 As Double
Dim hoja As Worksheet
Set hoja = Worksheets(1)
Sheets("PRINCIPAL").Select
Range("C9").Select
num10 = Val(ANCHO)
num11 = Val(ESP_SX)
num12 = Val(DIAMETRO)
num13 = Val(LARGO)
num14 = Val(ESP_SY)
num15 = Val(COEF_EXT)
num16 = Val(COND_K2)
num17 = Val(LON_B)

      Rem validamos que todos los campos estén llenos
      If   Trim$(LARGO.Text)   =   Empty   Or   Trim$(ANCHO.Text)   =   Empty   Or
      Trim$(ESPESOR_T1.Text)   =   Empty   Or   Trim$(COND_K1.Text)   =   Empty   Or
      Trim$(ESP_SX.Text) = Empty Or Trim$(ESP_SY.Text) = Empty Or Trim$(LON_B.Text) =
      Empty  Or  Trim$(ESPESOR_T2.Text)  =  Empty  Or  Trim$(COND_K2.Text)  =  Empty  Or
      Trim$(DIAMETRO.Text)   =   Empty   Or   Trim$(COEF_EXT.Text)   =   Empty   Or
      Trim$(TEMP_EXT.Text)   =   Empty   Or   Trim$(TEMP_INT.Text)   =   Empty   Or
      Trim$(COND_HC.Text) = Empty Then
      MsgBox "No se han ingresado datos nuevos", vbCritical, "Cálculos realizados
      anteriormente"
      Sheets("CALCULOS_AGU").Select
      Range("A2").Select
      ShowWindow Handle, vbMinimizedNoFocus
      ElseIf num10 < ((3 * num11) + (2 * num12)) Then
      MsgBox "No se cumple la igualdad (2Sb+3Sx)>= W", vbCritical, "DATOS ERRONEOS"
```

```
        ElseIf num13 < ((3 * num14) + (2 * num12)) Then
        MsgBox "No se cumple la igualdad (2Sb+3Sy)>= L", vbCritical, "DATOS ERRONEOS"
        ElseIf num17 > 0.15 Then
        MsgBox "Longitud de la aleta mayor a 15 cm", vbCritical, "DATOS ERRONEOS"
        ElseIf ((((4 * num15) / (num16 * num12)) ^ (1 / 2)) * num17) >= 2.5 Then
        MsgBox "Cálculos erroneos: m*b>2.5", vbCritical, "  Aleta infinitamente larga"
        ElseIf ((((4 * num15) / (num16 * num12)) ^ (1 / 2)) * num17) <= 2.5 Then
        Sheets("CALCULOS_AGU").Select
        Range("A2").Select
        ShowWindow Handle, vbMinimizedNoFocus
        End If
End Sub
```

```
Rem Programación del botón "VER RESULTADOS"
Private Sub VER_RESULTADOS_Click()
VALIDACION_1
End Sub
```

```
Sub VALIDACION_1()
Rem Declaración de variables
Dim contFila As Long
Dim num10, num11, num12, num13, num14, num15, num16, num17 As Double
Dim hoja As Worksheet
Set hoja = Worksheets(1)
Sheets("PRINCIPAL").Select
Range("C9").Select
num10 = Val(ANCHO)
num11 = Val(ESP_SX)
num12 = Val(DIAMETRO)
num13 = Val(LARGO)
num14 = Val(ESP_SY)
num15 = Val(COEF_EXT)
num16 = Val(COND_K2)
num17 = Val(LON_B)

        Rem validamos que todos los campos estén llenos
        If    Trim$(LARGO.Text)    =    Empty    Or    Trim$(ANCHO.Text)    =    Empty    Or
        Trim$(ESPESOR_T1.Text)    =    Empty    Or    Trim$(COND_K1.Text)    =    Empty    Or
        Trim$(ESP_SX.Text) = Empty Or Trim$(ESP_SY.Text) = Empty Or Trim$(LON_B.Text) =
        Empty  Or  Trim$(ESPESOR_T2.Text)  =  Empty  Or  Trim$(COND_K2.Text)  =  Empty  Or
        Trim$(DIAMETRO.Text)    =    Empty    Or    Trim$(COEF_EXT.Text)    =    Empty    Or
        Trim$(TEMP_EXT.Text)    =    Empty    Or    Trim$(TEMP_INT.Text)    =    Empty    Or
        Trim$(COND_HC.Text) = Empty Then
        MsgBox "No se han ingresado datos nuevos", vbCritical, "Resultados obtenidos
        anteriormente"
        Sheets("RESULTADOS_2").Select
        Range("B4").Select
        ShowWindow Handle, vbMinimizedNoFocus
        ElseIf num10 < ((3 * num11) + (2 * num12)) Then
        MsgBox "No se cumple la igualdad (2Sb+3Sx)>= W", vbCritical, "DATOS ERRONEOS"
        ElseIf num13 < ((3 * num14) + (2 * num12)) Then
        MsgBox "No se cumple la igualdad (2Sb+3Sy)>= L", vbCritical, "DATOS ERRONEOS"
        ElseIf num17 > 0.15 Then
        MsgBox "Longitud de la aleta mayor a 15 cm", vbCritical, "DATOS ERRONEOS"
        ElseIf ((((4 * num15) / (num16 * num12)) ^ (1 / 2)) * num17) >= 2.5 Then
```

```
        MsgBox "Cálculos erroneos: m*b>2.5", vbCritical, "  Aleta infinitamente larga"
        ElseIf ((((4 * num15) / (num16 * num12)) ^ (1 / 2)) * num17) <= 2.5 Then
        Sheets("RESULTADOS_2").Select
        Range("B4").Select
        ShowWindow Handle, vbMinimizedNoFocus
        End If
End Sub
```

```
Rem Bloquear letras
Private Sub LARGO_KeyPress(ByVal KeyAscii As MSForms.ReturnInteger)
        If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57 Or KeyAscii = 46) Then
        KeyAscii = 0
        End If
End Sub
```

```
Rem Bloquear letras
Private Sub ANCHO_KeyPress(ByVal KeyAscii As MSForms.ReturnInteger)
        If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57 Or KeyAscii = 46) Then
        KeyAscii = 0
        End If
End Sub
```

```
Rem Bloquear letras
Private Sub ESPESOR_T1_KeyPress(ByVal KeyAscii As MSForms.ReturnInteger)
        If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57 Or KeyAscii = 46) Then
        KeyAscii = 0
        End If
End Sub
```

```
Rem Bloquear letras
Private Sub COND_K1_KeyPress(ByVal KeyAscii As MSForms.ReturnInteger)
        If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57 Or KeyAscii = 46) Then
        KeyAscii = 0
        End If
End Sub
```

```
Rem Bloquear letras
Private Sub ESP_SX_KeyPress(ByVal KeyAscii As MSForms.ReturnInteger)
        If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57 Or KeyAscii = 46) Then
        KeyAscii = 0
        End If
End Sub
```

```
Rem Bloquear letras
Private Sub ESP_SY_KeyPress(ByVal KeyAscii As MSForms.ReturnInteger)
        If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57 Or KeyAscii = 46) Then
        KeyAscii = 0
        End If
End Sub
```

```
Rem Bloquear letras
Private Sub LON_B_KeyPress(ByVal KeyAscii As MSForms.ReturnInteger)
        If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57 Or KeyAscii = 46) Then
        KeyAscii = 0
```

```
      End If
End Sub
```

```
Rem Bloquear letras
Private Sub ESPESOR_T2_KeyPress(ByVal KeyAscii As MSForms.ReturnInteger)
      If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57 Or KeyAscii = 46) Then
      KeyAscii = 0
      End If
End Sub
```

```
Rem Bloquear letras
Private Sub COND_K2_KeyPress(ByVal KeyAscii As MSForms.ReturnInteger)
      If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57 Or KeyAscii = 46) Then
      KeyAscii = 0
      End If
End Sub
```

```
Rem Bloquear letras
Private Sub DIAMETRO_KeyPress(ByVal KeyAscii As MSForms.ReturnInteger)
      If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57 Or KeyAscii = 46) Then
      KeyAscii = 0
      End If
End Sub
```

```
Rem Bloquear letras
Private Sub COEF_EXT_KeyPress(ByVal KeyAscii As MSForms.ReturnInteger)
      If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57 Or KeyAscii = 46) Then
      KeyAscii = 0
      End If
End Sub
```

```
Rem Bloquear letras
Private Sub TEMP_EXT_KeyPress(ByVal KeyAscii As MSForms.ReturnInteger)
      If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57 Or KeyAscii = 46) Then
      KeyAscii = 0
      End If
End Sub
```

```
Rem Bloquear letras
Private Sub TEMP_INT_KeyPress(ByVal KeyAscii As MSForms.ReturnInteger)
      If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57 Or KeyAscii = 46) Then
      KeyAscii = 0
      End If
End Sub
```

```
Rem Bloquear letras
Private Sub COND_HC_KeyPress(ByVal KeyAscii As MSForms.ReturnInteger)
      If Not (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57 Or KeyAscii = 46) Then
      KeyAscii = 0
      End If
End Sub
```

Programación del libro de Microsoft Excel®

```
Private Sub Workbook_Open()
Sheets("PRINCIPAL").Select
Range("C9").Select
Bienvenido
End Sub
```

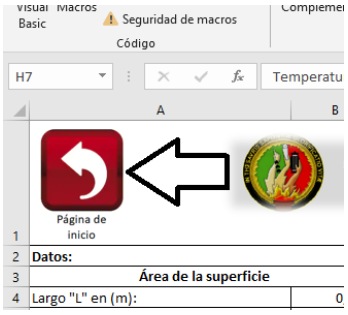
Programación del botón "ALETAS LONGITUDINALES SOBRE SUPERFICIES PLANAS"

```
Rem Programación del Módulo 1 para la ejecución de la macro
Sub REPRODUCIR()
USERFORM1.Show 0
End Sub
```

Programación del botón "ALETAS DE AGUJA SOBRE SUPERFICIES PLANAS"

```
Rem Programación del Módulo 1 para la ejecución de la macro
Sub REPRODUCIR_2()
UserForm2.Show 0
End Sub
```

Programación del botón "Página de inicio"



```
Rem Programación del Módulo 2
Sub VOLVER_PRINCIPAL()
Sheets("PRINCIPAL").Select
Range("G9").Select
End Sub
```

Programación del botón “TABLA DE PONDERACIÓN” (ALETAS LONGITUDINALES)

Resultados Obtenidos		
TIPO DE ALETA		Temperatura en la base (°C)
Perfil Rectangular (Longitud corregida)	**Método Válido**	185,39
Perfil Triangular		186,65
Perfil Parabólico Cóncavo		193,24

```
Rem Programación del Módulo 3
Sub TABLA_PONDERACION()
Sheets("RESULTADOS_1").Select
Range("D84").Select
End Sub
```

Programación del botón “TABLA DE PONDERACIÓN” (ALETAS TIPO AGUJA)

Resultados Obtenidos		
TIPO DE ALETA		Temperatura en la base (°C)
Aguja cilíndrica (Longitud corregida)	**Método Válido**	50,75
Aguja cuadrada (Longitud corregida)	**Método Válido**	52,73
Aguja cónica		52,21
Aguja parabólica cóncava		52,82

```
Rem Programación del Módulo 4
Sub TABLA_RESUMEN()
Sheets("RESULTADOS_LON").Select
Range("A2").Select
End Sub
```

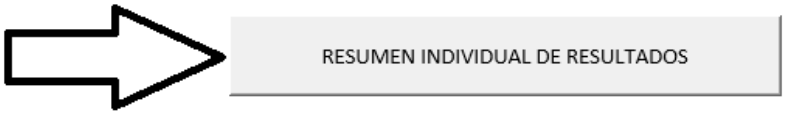
Programación del botón "RESUMEN INDIVIDUAL DE RESULTADOS" (ALETAS LONGITUDINALES)

Tabla de Ponderación						
TIPO	Eficiencia global del arreglo	Flujo de calor total (W)	Temperatura en la base (°C)	Temperatura en la punta (°C)	Efectividad	Total
Perfil Rectangular	3	3	3	1	3	**13**
Perfil Triangular	2	2	2	2	2	**10**
Perfil Parabólico Cóncavo	1	1	1	3	1	**7**

```
Rem Programación del Módulo 5
Sub TABLA_PONDERACION_2()
Sheets("RESULTADOS_2").Select
Range("D100").Select
End Sub
```

Programación del botón "RESUMEN INDIVIDUAL DE RESULTADOS" (ALETAS TIPO AGUJA)

Tabla de Ponderación						
TIPO	Eficiencia global del arreglo	Flujo de calor total (W)	Temperatura en la base (°C)	Temperatura en la punta (°C)	Efectividad	Total
Aguja cilíndrica	1	4	4	2	4	**15**
Aguja cuadrada	2	2	2	3	2	**11**
Aguja cónica	3	3	3	1	3	**13**
Aguja parabólica cóncava	4	1	1	4	1	**11**




```
Rem Programación del Módulo 6
Sub TABLA_RESUMEN_2()
Sheets("RESULTADOS_AGU").Select
Range("A2").Select
End Sub
```

Anexo 5:

Propiedades del aire a la presión de 1 atmósfera

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., T, °C	Densidad, ρ, kg/m^3	Calor específico, c_p, J/kg · K	Conductividad térmica, k, W/m · K	Difusividad térmica, α, m^2/s^2	Viscosidad dinámica, μ, kg/m · s	Viscosidad cinemática, ν, m^2/s	Número de Prandtl, Pr
−150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
−100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-6}	5.837×10^{-6}	0.7263
−50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
−40	1.514	1 002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
−30	1.451	1 004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
−20	1.394	1 005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
−10	1.341	1 006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Nota: Para los gases ideales, las propiedades c_p, k, μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ, ν y α a una presión P (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ, a la temperatura dada, por P y al dividir ν y α entre P.

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 1984, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermans, IFI/Plenun, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.

Anexo 6:

Valor de las constantes “C” y “m” según el tipo de configuración (Alineada-Escalonada)

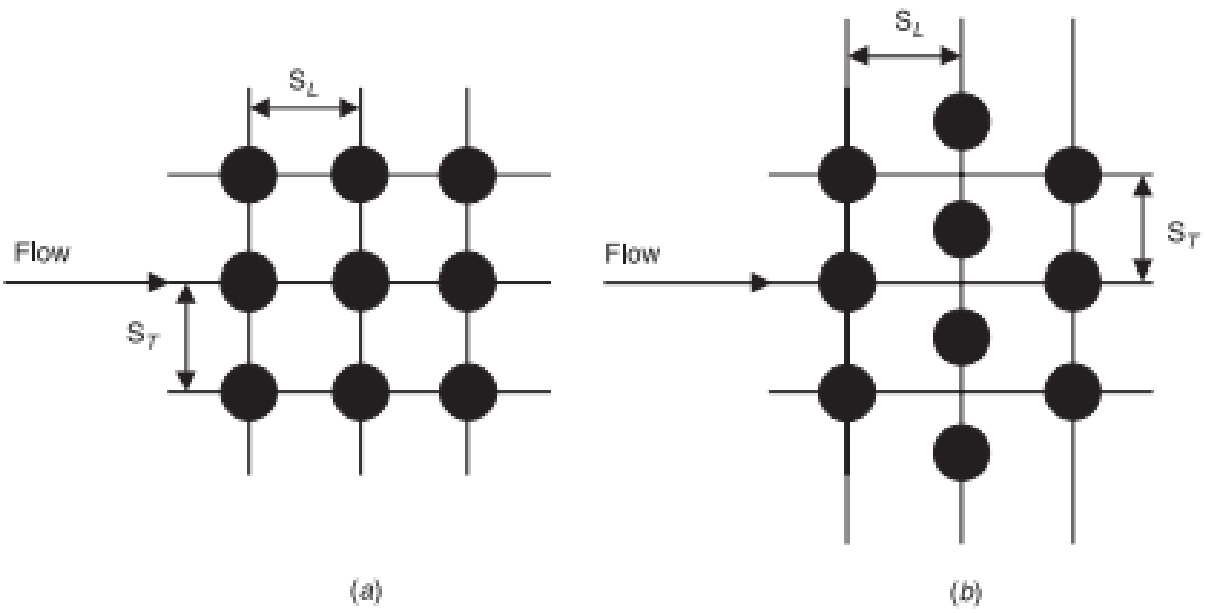


Tabla 6.4. Coeficientes de la correlación de Zhukauskas para el flujo cruzado sobre un banco de tubos.

Configuración	$Re_{D,máx}$	C	m
Alineado	$10 - 10^2$	0,80	0,40
Escalonado	$10 - 10^2$	0,90	0,40
Alineado	$10^2 - 10^3$	Se aproxima como un cilindro único	
Escalonado	$10^2 - 10^3$	Se aproxima como un cilindro único	
Alineado ($S_T / S_L > 0,7$)	$10^3 - 2 \cdot 10^5$	0,27	0,63
Escalonado ($S_T / S_L < 2$)	$10^3 - 2 \cdot 10^5$	$0,35(S_T / S_L)^{1/5}$	0,60
Escalonado ($S_T / S_L > 2$)	$10^3 - 2 \cdot 10^5$	0,40	0,60
Alineado	$2 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^6$	0,021	0,84
Escalonado	$2 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^6$	0,022	0,84

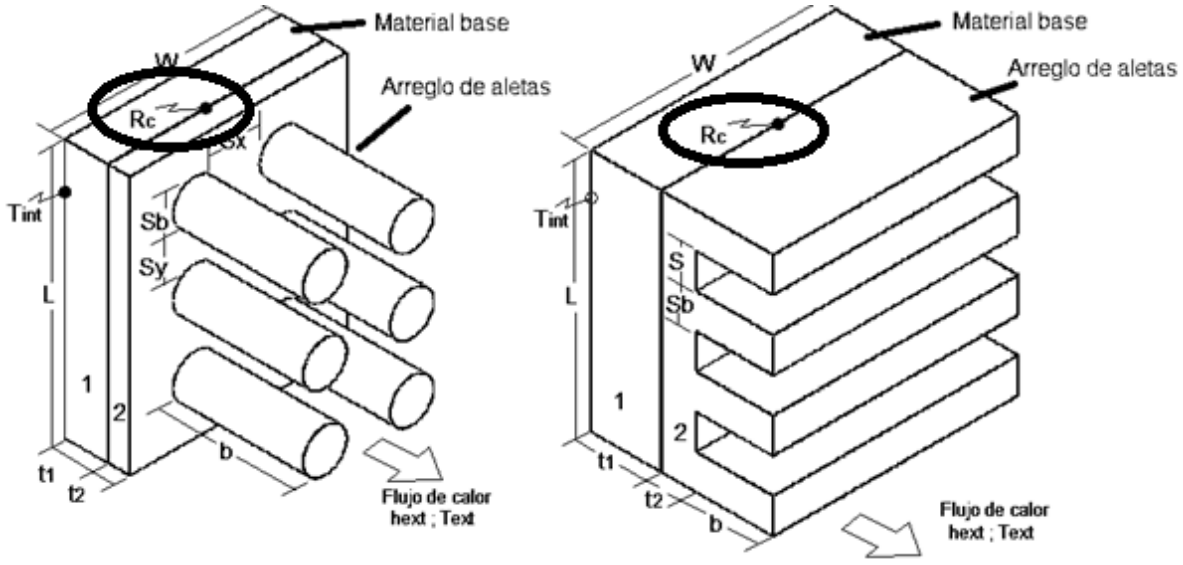
Para $S_T / S_L < 0,7$, la transferencia de calor es ineficiente y los tubos alineados no se deben usar.

Tabla 6.5. Coeficiente de corrección C_2 de la correlación de Zhukauskas para el flujo cruzado sobre un banco de tubos para $N_L < 20$ y $Re_D > 10^3$.

N_L	1	2	3	4	5	7	10	13	16
Alineado	0,70	0,80	0,86	0,90	0,92	0,95	0,97	0,98	0,99
Escalonado	0,64	0,76	0,84	0,89	0,92	0,95	0,97	0,98	0,99

Anexo 7:

Cálculo de la conductancia térmica por contacto "h_c" entre hierro-hierro



ACABADO SUPERFICIAL (ESMERILADO)

Arreglo de aletas tipo aguja cilíndrica

Longitud característica

$$Lc = b + \frac{\mathcal{S}b}{4} = 0{,}09 + \frac{0{,}0125}{4} = 0{,}09313\ m$$

Área de una sola aleta

$$A_f = \pi * \mathcal{S}b * Lc = \pi * 0{,}0125 * 0{,}093 = 0{,}003657\ m^2$$

Factor geométrico del perfil

$$m = \sqrt{\frac{4 * hext}{k_2 * \mathcal{S}b}} = \sqrt{\frac{4 * 38{,}22}{79{,}5 * 0{,}0125}} = 12{,}40$$

Área total según el número de aletas

$$A_{ft} = N * A_f = 9 * 0{,}00365 = 0{,}03292\ m^2$$

Área de la superficie 1 y superficie 2

$$A_1 = A_2 = A_c = W * L = 0{,}01\ m^2$$

Área libre de aletas

$$A_{Libre} = A_1 - N\left(\frac{\pi * \mathcal{S}b^2}{4}\right) = 0{,}01 - 9\left(\frac{\pi * 0{,}0125^2}{4}\right) = 0{,}0089\ m^2$$

Área total asociada con las aletas y la parte expuesta

$$A_T = N * A_f + A_{Libre} = 0{,}03292 + 0{,}0089 = 0{,}04181\ m^2$$

Eficiencia de una sola aleta

$$\eta_f = \frac{\tanh\,(m * Lc)}{m * Lc} = \frac{\tanh\,(12{,}40 * 0{,}093)}{12{,}40 * 0{,}093} = 0{,}709$$

Eficiencia total del arreglo

$$\eta_0 = 1 - \frac{N * A_f}{A_T}\left(1 - \eta_f\right) = 1 - \frac{9 * 0{,}00365}{0{,}04181}(1 - 0{,}709) = 0{,}77$$

Resistencia total del arreglo

$$R_{T,0} = \frac{1}{\eta_0 * hext * A_T} = \frac{1}{0{,}77 * 38{,}22 * 0{,}04181} = 0{,}81\ ^oC/W$$

Cálculo de la resistencia del material 1

$$R_1 = \frac{t_1}{A_1 * k_1} = \frac{0{,}007}{0{,}01 * 79{,}5} = 0{,}00881\ ^oC/W$$

Cálculo de la resistencia del material 2

$$R_2 = \frac{t_2}{A_2 * k_2} = \frac{0{,}002}{0{,}01 * 79{,}5} = 0{,}0025\ ^oC/W$$

Las lecturas de temperatura obtenidas a lo largo de la aleta son

Temperatura en la fuente de calor (ºC)	50	
Número de termocupla	**Distancia (m)**	**Temperatura (ºC)**
Termocupla 1	0	46,043
Termocupla 2	0,03	43,679
Termocupla 3	0,06	40,498
Termocupla 4	0,09	37,810

Donde la temperatura en la base de aleta es igual a $46{,}043\ ^oC$, entonces el flujo de calor total es:

$$\dot{q}_{Total} = \frac{T_s - T_\infty}{R_{T,0}} = \frac{46{,}043 - 22}{0{,}81} = 29{,}68\ W$$

La conductancia térmica por contacto es igual a

$$\dot{q}_{Total} = \frac{T_{int} - T_\infty}{R_T} = \frac{T_{int} - T_\infty}{R_{T,0} + R_1 + R_2 + R_c}$$

$$R_c = \frac{T_{int} - T_\infty}{\dot{q}_{Total}} - R_{T,0} - R_1 - R_2$$

$$R_c = \frac{50 - 22}{29{,}68} - 0{,}81 - 0{,}00881 - 0{,}0025 = 0{,}122\ ^oC/W$$

$$R_c = \frac{1}{A_c * h_c}$$

$$h_{c,1} = \frac{1}{A_c * R_c} = \frac{1}{0{,}01 * 0{,}122} = 819{,}67\ \frac{W}{m^2 * {}^oC}$$

Arreglo de aletas tipo aguja cuadrada

Dimensión Sb' de la aleta

$$Sb' = \sqrt{\frac{Sb^2}{2}} = \sqrt{\frac{0.0125^2}{2}} == 0{,}0088\ m$$

Longitud característica

$$Lc = b + \frac{\mathcal{S}b'}{2} = 0{,}09 + \frac{0{,}0125}{2} = 0{,}0944\ m$$

Área de una sola aleta

$$A_f = 2 * \mathcal{S}b' * Lc = 2 * 0{,}0088 * 0{,}0944 = 0{,}00166\ m^2$$

Factor geométrico del perfil

$$m = \sqrt{\frac{4 * hext}{k_2 * \mathcal{S}b'}} = \sqrt{\frac{4 * 38{,}22}{79{,}5 * 0{,}0088}} = 14{,}78$$

Área total según el número de aletas

$$A_{ft} = N * A_f = 9 * 0{,}001669 = 0{,}015\ m^2$$

Área de la superficie 1 y superficie 2

$$A_1 = A_2 = A_c = W * L = 0{,}01\ m^2$$

Área libre de aletas

$$A_{Libre} = A_1 - N(Sb'^2) = 0{,}01 - 9(0{,}0088^2) = 0{,}0093\ m^2$$

Área total asociada con las aletas y la parte expuesta

$$A_T = N * A_f + A_{Libre} = 0{,}0149 + 0{,}0093 = 0{,}0243\ m^2$$

Eficiencia de una sola aleta

$$\eta_f = \frac{\tanh\,(m * Lc)}{m * Lc} = \frac{\tanh\,(14{,}78 * 0{,}0944)}{14{,}78 * 0{,}0944} = 0{,}634$$

Eficiencia total del arreglo

$$\eta_0 = 1 - \frac{N * A_f}{A_T}\left(1 - \eta_f\right) = 1 - \frac{9 * 0{,}00166}{0{,}0243}(1 - 0{,}634) = 0{,}774$$

Resistencia total del arreglo

$$R_{T,0} = \frac{1}{\eta_0 * hext * A_T} = \frac{1}{0{,}774 * 38{,}22 * 0{,}0243} = 1{,}39\ ^oC/W$$

Cálculo de la resistencia del material 1

$$R_1 = \frac{t_1}{A_1 * k_1} = \frac{0{,}007}{0{,}01 * 79{,}5} = 0{,}00881\ ^oC/W$$

Cálculo de la resistencia del material 2

$$R_2 = \frac{t_2}{A_2 * k_2} = \frac{0{,}002}{0{,}01 * 79{,}5} = 0{,}0025\ ^oC/W$$

Las lecturas de temperatura obtenidas a lo largo de la aleta son

Temperatura en la fuente de calor (ºC)	50	
Número de termocupla	**Distancia (m)**	**Temperatura (ºC)**
Termocupla 1	0	45,793
Termocupla 2	0,03	41,437
Termocupla 3	0,06	37,998
Termocupla 4	0,09	36,811

Donde la temperatura en la base de aleta es igual a $45{,}793\ ^oC$, entonces el flujo de calor total es:

$$\dot{q}_{Total} = \frac{T_s - T_\infty}{R_{T,0}} = \frac{45{,}793 - 22}{1{,}39} = 17{,}11\ W$$

La conductancia térmica por contacto es igual a

$$\dot{q}_{Total} = \frac{T_{int} - T_\infty}{R_T} = \frac{T_{int} - T_\infty}{R_{T,0} + R_1 + R_2 + R_c}$$

$$R_c = \frac{T_{int} - T_\infty}{\dot{q}_{Total}} - R_{T,0} - R_1 - R_2$$

$$R_c = \frac{50 - 22}{17{,}11} - 1{,}39 - 0{,}00881 - 0{,}0025 = 0{,}235\ ^oC/W$$

$$R_c = \frac{1}{A_c * h_c}$$

$$h_{c,2} = \frac{1}{A_c * R_c} = \frac{1}{0{,}01 * 0{,}235} = 425{,}53\ \frac{W}{m^2 * ^oC}$$

La conductancia térmica por contacto promedio es:

$$h_{c,promedio} = \frac{h_{c,1} + h_{c,2}}{2} = \frac{819{,}67 + 425{,}53}{2} = \mathbf{622{,}6\ \frac{W}{m^2 * ^oC}}$$

ACABADO SUPERFICIAL (SIN ESMERILAR)

Arreglo de aletas longitudinales de perfil rectangular

Longitud característica

$$Lc = b + \frac{\mathcal{S}b}{2} = 0{,}1 + \frac{0{,}002}{2} = 0{,}101\ m$$

Área de una sola aleta

$$A_f = 2 * W * Lc = 2 * 0{,}1 * 0{,}101 = 0{,}0202\ m^2$$

Factor geométrico del perfil

$$m = \sqrt{\frac{2 * hext}{k_2 * \mathcal{S}b}} = \sqrt{\frac{2 * 8}{79{,}5 * 0{,}002}} = 10{,}03$$

Área total según el número de aletas

$$A_{ft} = N * A_f = 8 * 0{,}0202 = 0{,}1616\ m^2$$

Área de la superficie 1 y superficie 2

$$A_1 = A_2 = A_c = W * L = 0{,}01\ m^2$$

Área libre de aletas

$$A_{Libre} = A_1 - (N * Sb * W) = 0{,}01 - (8 * 0{,}002 * 0{,}1) = 0{,}0084\ m^2$$

Área total asociada con las aletas y la parte expuesta

$$A_T = N * A_f + A_{Libre} = 0{,}1616 + 0{,}0084 = 0{,}17\ m^2$$

Eficiencia de una sola aleta

$$\eta_f = \frac{\tanh{(m * Lc)}}{m * Lc} = \frac{\tanh{(10{,}03 * 0{,}101)}}{10{,}03 * 0{,}101} = 0{,}757$$

Eficiencia total del arreglo

$$\eta_0 = 1 - \frac{N * A_f}{A_T}\left(1 - \eta_f\right) = 1 - \frac{8 * 0{,}0202}{0{,}17}(1 - 0{,}757) = 0{,}769$$

Resistencia total del arreglo

$$R_{T,0} = \frac{1}{\eta_0 * hext * A_T} = \frac{1}{0{,}769 * 8 * 0{,}17} = 0{,}956\ ^oC/W$$

Cálculo de la resistencia del material 1

$$R_1 = \frac{t_1}{A_1 * k_1} = \frac{0{,}007}{0{,}01 * 79{,}5} = 0{,}00881\ ^oC/W$$

Cálculo de la resistencia del material 2

$$R_2 = \frac{t_2}{A_2 * k_2} = \frac{0{,}002}{0{,}01 * 79{,}5} = 0{,}0025\ ^oC/W$$

Las lecturas de temperatura obtenidas a lo largo de la aleta son

Temperatura en la fuente de calor (ºC)	46	
Número de termocupla	**Distancia (m)**	**Temperatura (ºC)**
Termocupla 1	0	36,044
Termocupla 2	0,03	35,211
Termocupla 3	0,06	32,496
Termocupla 4	0,09	31,317

Donde la temperatura en la base de aleta es igual a $36{,}044\ ^{\circ}C$, entonces el flujo de calor total es:

$$\dot{q}_{Total} = \frac{T_s - T_\infty}{R_{T,0}} = \frac{36{,}044 - 22}{0{,}956} = 14{,}7\ W$$

La conductancia térmica por contacto es igual a

$$\dot{q}_{Total} = \frac{T_{int} - T_\infty}{R_T} = \frac{T_{int} - T_\infty}{R_{T,0} + R_1 + R_2 + R_c}$$

$$R_c = \frac{T_{int} - T_\infty}{\dot{q}_{Total}} - R_{T,0} - R_1 - R_2$$

$$R_c = \frac{46 - 22}{14{,}7} - 0{,}956 - 0{,}00881 - 0{,}0025 = 0{,}665$$

$$R_c = \frac{1}{A_c * h_c}$$

La conductancia térmica por contacto es:

$$h_{c,2} = \frac{1}{A_c * R_c} = \frac{1}{0{,}01 * 0{,}665} = \mathbf{150{,}37}\ \frac{\boldsymbol{W}}{\boldsymbol{m^2 * {}^{o}C}}$$

Anexo 8:

Características técnicas del integrado amplificador MAX6675

19-2235; Rev 1; 3/02

MAXIM

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

General Description

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

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

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

Features

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

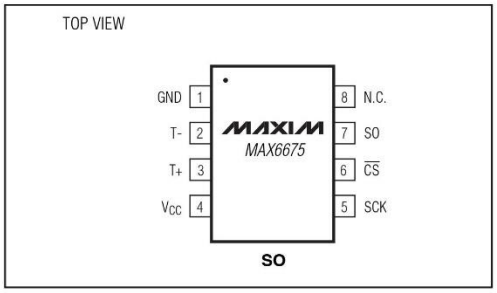
Ordering Information

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

Applications

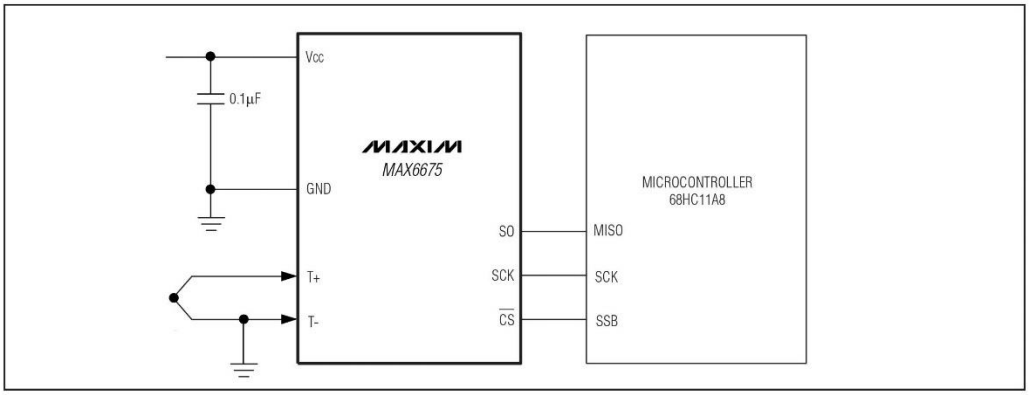
Industrial
Appliances
HVAC
Automotive

Pin Configuration



SPI is a trademark of Motorola, Inc.

Typical Application Circuit



For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim/Dallas Direct! at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at www.maxim-ic.com.

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

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage (V_{CC} to GND) ..... -0.3V to +6V
SO, SCK, $\overline{CS}$, T-, T+ to GND .....-0.3V to V_{CC} + 0.3V
SO Current 50mA
ESD Protection (Human Body Model) ..... ±2000V
Continuous Power Dissipation (T_A = +70°C)
8-Pin SO (derate 5.88mW/°C above +70°C) 471mW
Operating Temperature Range .....-20°C to +85°C
Storage Temperature Range .....-65°C to +150°C
Junction Temperature ..... +150°C
SO Package
Vapor Phase (60s) . .....+215°C
Infrared (15s) .....+220°C
Lead Temperature (soldering, 10s) ..... +300°C

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_{CC} = +3.0V to +5.5V, T_A = -20°C to +85°C, unless otherwise noted. Typical values specified at +25°C.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
Temperature Error		$T_{THERMOCOUPLE}$ = +700°C, T_A = +25°C (Note 2)	V_{CC} = +3.3V	-5		+5	LSB
			V_{CC} = +5V	-6		+6	
		$T_{THERMOCOUPLE}$ = 0°C to +700°C, T_A = +25°C (Note 2)	V_{CC} = +3.3V	-8		+8	
			V_{CC} = +5V	-9		+9	
		$T_{THERMOCOUPLE}$ = +700°C to +1000°C, T_A = +25°C (Note 2)	V_{CC} = +3.3V	-17		+17	
			V_{CC} = +5V	-19		+19	
Thermocouple Conversion Constant					10.25		µV/LSB
Cold-Junction Compensation Error		T_A = -20°C to +85°C (Note 2)	V_{CC} = +3.3V	-3.0		+3.0	°C
			V_{CC} = +5V	-3.0		+3.0	
Resolution					0.25		°C
Thermocouple Input Impedance					60		kΩ
Supply Voltage	V_{CC}			3.0		5.5	V
Supply Current	I_{CC}				0.7	1.5	mA
Power-On Reset Threshold		V_{CC} rising		1	2	2.5	V
Power-On Reset Hysteresis					50		mV
Conversion Time		(Note 2)			0.17	0.22	s
SERIAL INTERFACE							
Input Low Voltage	V_{IL}					0.3 x V_{CC}	V
Input High Voltage	V_{IH}			0.7 x V_{CC}			V
Input Leakage Current	I_{LEAK}	V_{IN} = GND or V_{CC}				±5	µA
Input Capacitance	C_{IN}				5		pF

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

(V_{CC} = +3.0V to +5.5V, T_A = -20°C to +85°C, unless otherwise noted. Typical values specified at +25°C.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output High Voltage	V_{OH}	I_{SOURCE} = 1.6mA	V_{CC} - 0.4			V
Output Low Voltage	V_{OL}	I_{SINK} = 1.6mA			0.4	V
TIMING						
Serial Clock Frequency	f_{SCL}				4.3	MHz
SCK Pulse High Width	t_{CH}		100			ns
SCK Pulse Low Width	t_{CL}		100			ns
CSB Fall to SCK Rise	t_{CSS}	C_L = 10pF	100			ns
CSB Fall to Output Enable	t_{DV}	C_L = 10pF			100	ns
CSB Rise to Output Disable	t_{TR}	C_L = 10pF			100	ns
SCK Fall to Output Data Valid	t_{DO}	C_L = 10pF			100	ns

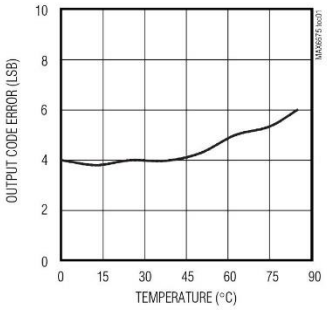
Note 1: All specifications are 100% tested at T_A = +25°C. Specification limits over temperature (T_A = T_{MIN} to T_{MAX}) are guaranteed by design and characterization, not production tested.

Note 2: Guaranteed by design. Not production tested.

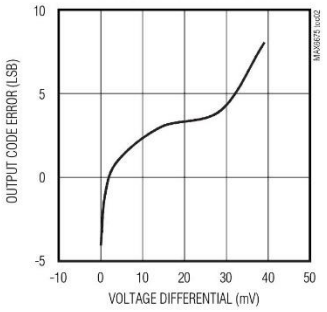
Typical Operating Characteristics

(V_{CC} = +3.3V, T_A = +25°C, unless otherwise noted.)

OUTPUT CODE ERROR vs. AMBIENT TEMPERATURE



OUTPUT CODE ERROR vs. VOLTAGE DIFFERENTIAL



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

Pin Description

PIN	NAME	FUNCTION
1	GND	Ground
2	T-	Alumel Lead of Type-K Thermocouple. Should be connected to ground externally.
3	T+	Chromel Lead of Type-K Thermocouple
4	V_{CC}	Positive Supply. Bypass with a 0.1µF capacitor to GND.
5	SCK	Serial Clock Input
6	$\overline{CS}$	Chip Select. Set $\overline{CS}$ low to enable the serial interface.
7	SO	Serial Data Output
8	N.C.	No Connection

Detailed Description

The MAX6675 is a sophisticated thermocouple-to-digital converter with a built-in 12-bit analog-to-digital converter (ADC). The MAX6675 also contains cold-junction compensation sensing and correction, a digital controller, an SPI-compatible interface, and associated control logic.

The MAX6675 is designed to work in conjunction with an external microcontroller (µC) or other intelligence in thermostatic, process-control, or monitoring applications.

Temperature Conversion

The MAX6675 includes signal-conditioning hardware to convert the thermocouple's signal into a voltage compatible with the input channels of the ADC. The T+ and T- inputs connect to internal circuitry that reduces the introduction of noise errors from the thermocouple wires.

Before converting the thermoelectric voltages into equivalent temperature values, it is necessary to compensate for the difference between the thermocouple cold-junction side (MAX6675 ambient temperature) and a 0°C virtual reference. For a type-K thermocouple, the voltage changes by 41µV/°C, which approximates the thermocouple characteristic with the following linear equation:

$$V_{OUT} = (41\mu V / °C) \times (T_R - T_{AMB})$$

Where:

V_{OUT} is the thermocouple output voltage (µV).

T_R is the temperature of the remote thermocouple junction (°C).

T_{AMB} is the ambient temperature (°C).

Cold-Junction Compensation

The function of the thermocouple is to sense a difference in temperature between two ends of the thermocouple wires. The thermocouple's hot junction can be read from 0°C to +1023.75°C. The cold end (ambient temperature of the board on which the MAX6675 is mounted) can only range from -20°C to +85°C. While the temperature at the cold end fluctuates, the MAX6675 continues to accurately sense the temperature difference at the opposite end.

The MAX6675 senses and corrects for the changes in the ambient temperature with cold-junction compensation. The device converts the ambient temperature reading into a voltage using a temperature-sensing diode. To make the actual thermocouple temperature measurement, the MAX6675 measures the voltage from the thermocouple's output and from the sensing diode. The device's internal circuitry passes the diode's voltage (sensing ambient temperature) and thermocouple voltage (sensing remote temperature minus ambient temperature) to the conversion function stored in the ADC to calculate the thermocouple's hot-junction temperature.

Optimal performance from the MAX6675 is achieved when the thermocouple cold junction and the MAX6675 are at the same temperature. Avoid placing heat-generating devices or components near the MAX6675 because this may produce cold-junction-related errors.

Digitization

The ADC adds the cold-junction diode measurement with the amplified thermocouple voltage and reads out the 12-bit result onto the SO pin. A sequence of all zeros means the thermocouple reading is 0°C. A sequence of all ones means the thermocouple reading is +1023.75°C.

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

Applications Information

Serial Interface

The *Typical Application Circuit* shows the MAX6675 interfaced with a microcontroller. In this example, the MAX6675 processes the reading from the thermocouple and transmits the data through a serial interface. Force $\overline{CS}$ low and apply a clock signal at SCK to read the results at SO. Forcing $\overline{CS}$ low immediately stops any conversion process. Initiate a new conversion process by forcing $\overline{CS}$ high.

Force $\overline{CS}$ low to output the first bit on the SO pin. A complete serial interface read requires 16 clock cycles. Read the 16 output bits on the falling edge of the clock. The first bit, D15, is a dummy sign bit and is always zero. Bits D14–D3 contain the converted temperature in the order of MSB to LSB. Bit D2 is normally low and goes high when the thermocouple input is open. D1 is low to provide a device ID for the MAX6675 and bit D0 is three-state.

Figure 1a is the serial interface protocol and Figure 1b shows the serial interface timing. Figure 2 is the SO output.

Open Thermocouple

Bit D2 is normally low and goes high if the thermocouple input is open. In order to allow the operation of the open thermocouple detector, T- must be grounded. Make the ground connection as close to the GND pin as possible.

Noise Considerations

The accuracy of the MAX6675 is susceptible to power-supply coupled noise. The effects of power-supply noise can be minimized by placing a 0.1µF ceramic bypass capacitor close to the supply pin of the device.

Thermal Considerations

Self-heating degrades the temperature measurement accuracy of the MAX6675 in some applications. The magnitude of the temperature errors depends on the thermal conductivity of the MAX6675 package, the mounting technique, and the effects of airflow. Use a large ground plane to improve the temperature measurement accuracy of the MAX6675.

The accuracy of a thermocouple system can also be improved by following these precautions:

- Use the largest wire possible that does not shunt heat away from the measurement area.
- If small wire is required, use it only in the region of the measurement and use extension wire for the region with no temperature gradient.
- Avoid mechanical stress and vibration, which could strain the wires.
- When using long thermocouple wires, use a twisted-pair extension wire.
- Avoid steep temperature gradients.
- Try to use the thermocouple wire well within its temperature rating.
- Use the proper sheathing material in hostile environments to protect the thermocouple wire.
- Use extension wire only at low temperatures and only in regions of small gradients.
- Keep an event log and a continuous record of thermocouple resistance.

Reducing Effects of Pick-Up Noise

The input amplifier (A1) is a low-noise amplifier designed to enable high-precision input sensing. Keep the thermocouple and connecting wires away from electrical noise sources.

Chip Information

TRANSISTOR COUNT: 6720

PROCESS: BiCMOS

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

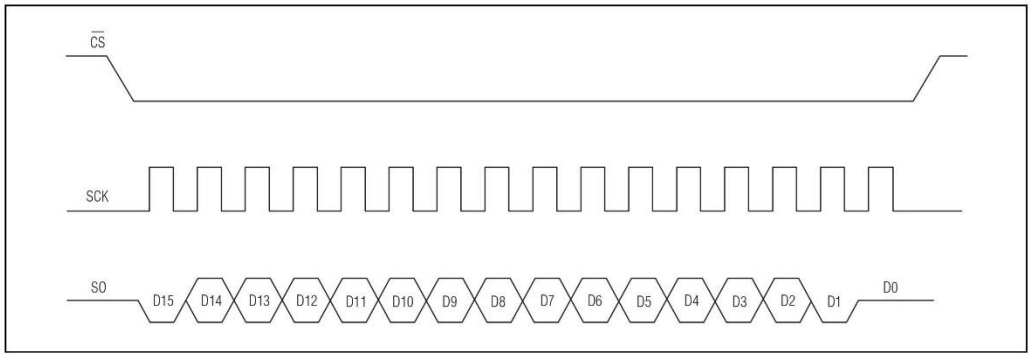


Figure 1a. Serial Interface Protocol

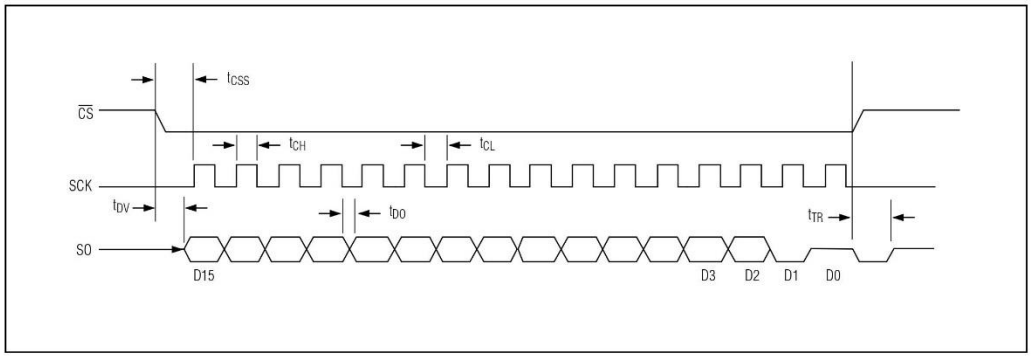


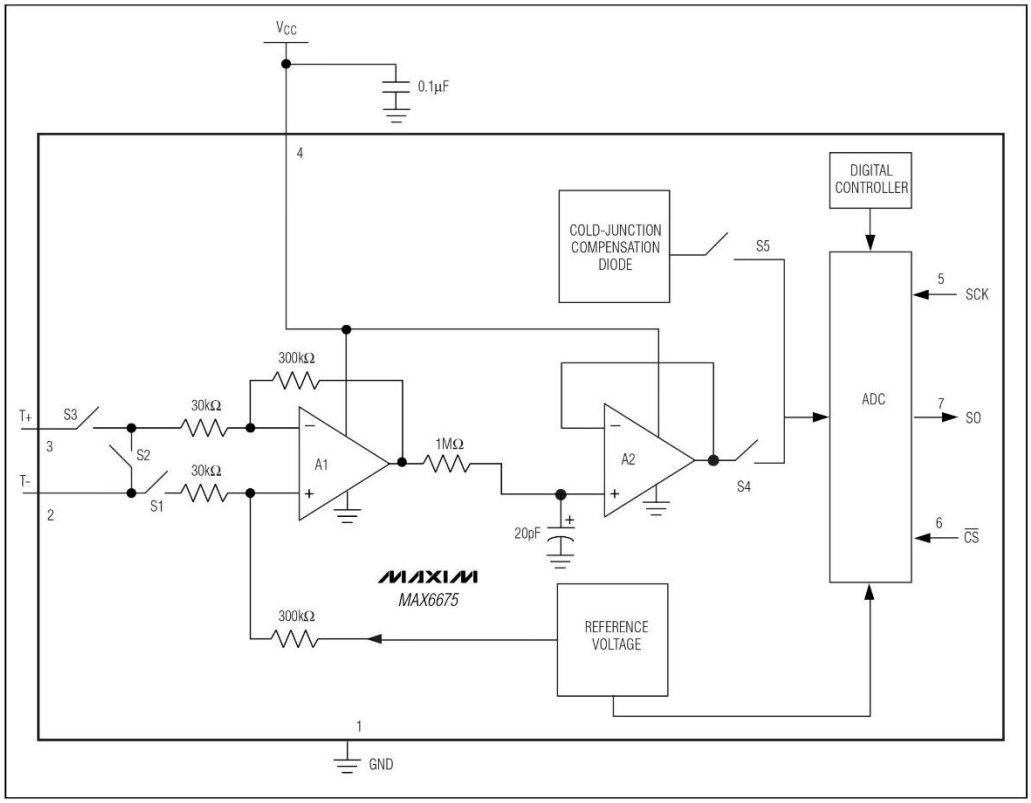
Figure 1b. Serial Interface Timing

BIT	DUMMY SIGN BIT	12-BIT TEMPERATURE READING												THERMOCOUPLE INPUT	DEVICE ID	STATE
Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	0	MSB											LSB		0	Three-state

Figure 2. SO Output

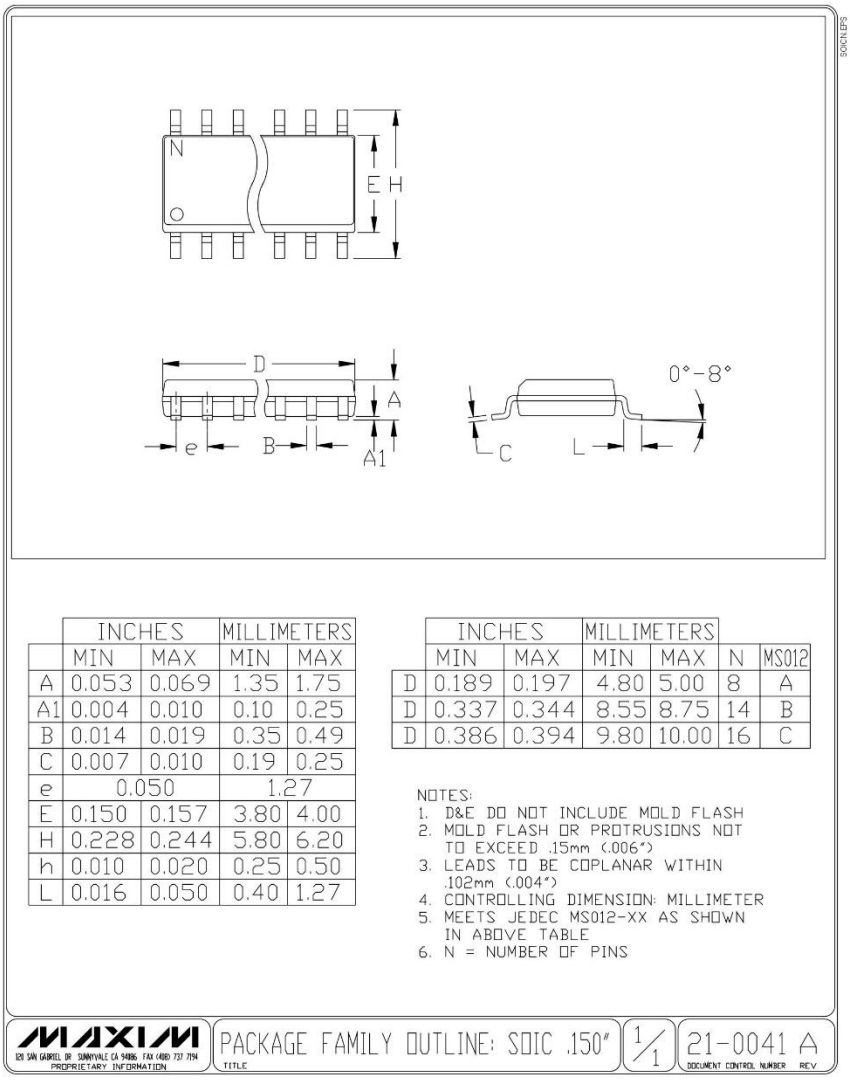
Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

Block Diagram



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

Package Information



	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.053	0.069	1.35	1.75
A1	0.004	0.010	0.10	0.25
B	0.014	0.019	0.35	0.49
C	0.007	0.010	0.19	0.25
e	0.050		1.27	
E	0.150	0.157	3.80	4.00
H	0.228	0.244	5.80	6.20
h	0.010	0.020	0.25	0.50
L	0.016	0.050	0.40	1.27

	INCHES		MILLIMETERS			
	MIN	MAX	MIN	MAX	N	MS012
D	0.189	0.197	4.80	5.00	8	A
D	0.337	0.344	8.55	8.75	14	B
D	0.386	0.394	9.80	10.00	16	C

NOTES:
1. D&E DO NOT INCLUDE MOLD FLASH
2. MOLD FLASH OR PROTRUSIONS NOT TO EXCEED .15mm (.006")
3. LEADS TO BE COPLANAR WITHIN .102mm (.004")
4. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER
5. MEETS JEDEC MS012-XX AS SHOWN IN ABOVE TABLE
6. N = NUMBER OF PINS

MAXIM 120 SAN GABRIEL DR SUNNYVALE CA 94086 FAX (408) 737 7194 PROPRIETARY INFORMATION | PACKAGE FAMILY OUTLINE: SOIC .150" TITLE | 1/1 | 21-0041 A DOCUMENT CONTROL NUMBER REV

Maxim cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Maxim product. No circuit patent licenses are implied. Maxim reserves the right to change the circuitry and specifications without notice at any time.

© 2002 Maxim Integrated Products Printed USA MAXIM is a registered trademark of Maxim Integrated Products.

Anexo 9:

Programación de IDE de Arduino® y LabVIEW®

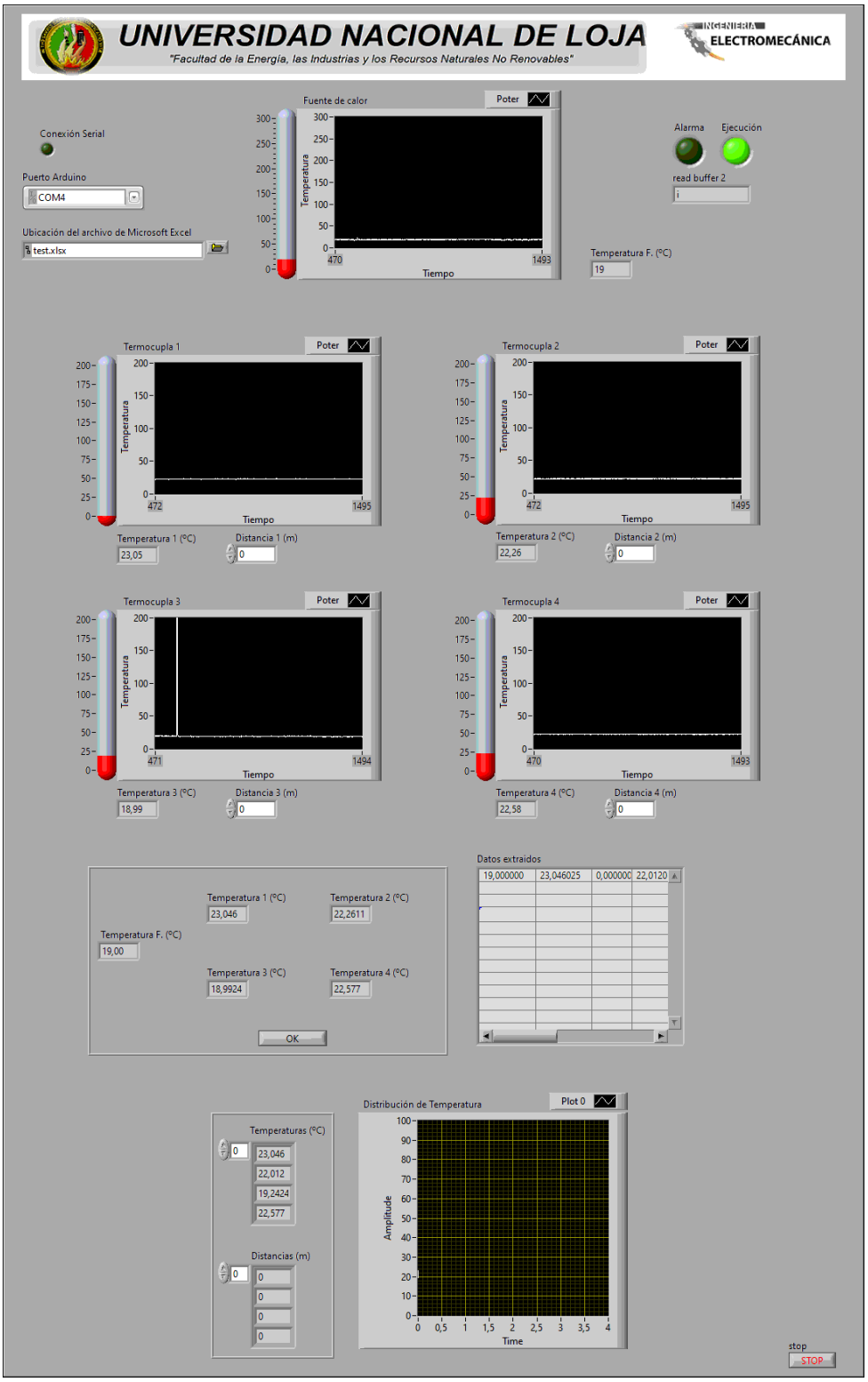
Programación de IDE de Arduino®

```
#include "max6675.h"

int thermoDO1 = 50;         //define serial output pin
int thermoCLK1 = 52;        //define system clock pin

int thermoDO2 = 46;         //define serial output pin
int thermoCLK2 = 48;        //define system clock pin

int thermoDO3 = 44;         //define serial output pin
int thermoCLK3 = 42;        //define system clock pin

int thermoDO4 = 38;         //define serial output pin
int thermoCLK4 = 40;        //define system clock pin

int thermoDO5 = 34;         //define serial output pin
int thermoCLK5 = 36;        //define system clock pin

int thermoCS1 = 15;        //define chip select pins
int thermoCS2 = 16;
int thermoCS3 = 17;
int thermoCS4 = 18;
int thermoCS5 = 19;

MAX6675 thermocouple1(thermoCLK1, thermoCS1, thermoDO1);//define MAX functions
MAX6675 thermocouple2(thermoCLK2, thermoCS2, thermoDO2);
MAX6675 thermocouple3(thermoCLK3, thermoCS3, thermoDO3);
MAX6675 thermocouple4(thermoCLK4, thermoCS4, thermoDO4);
MAX6675 thermocouple5(thermoCLK5, thermoCS5, thermoDO5);

int led1 = 4;
int led2 = 5;
int temp = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(led1, OUTPUT); // for status LEDs
  pinMode(led2, OUTPUT); // for status LEDs
}

void loop() {
  Serial.print("i");
  Serial.print(thermocouple1.readCelsius());
  Serial.print(",");
  Serial.print(thermocouple2.readCelsius());
  temp = thermocouple1.readCelsius();
  Serial.print(",");
  if (temp > 55) {
    digitalWrite(led1, HIGH);
```

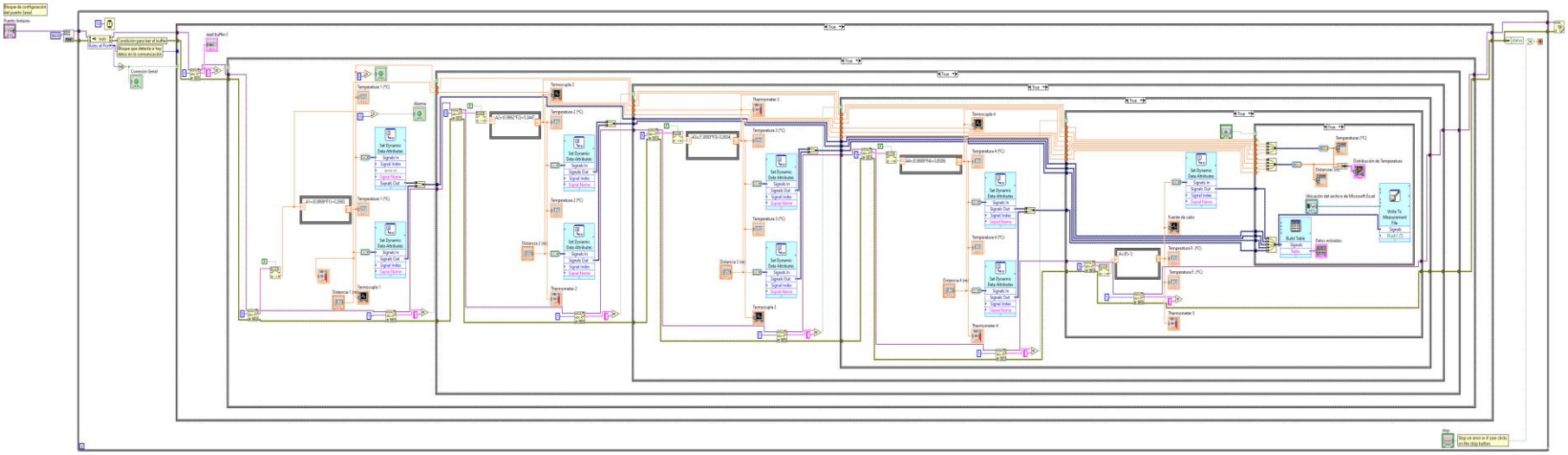
```
    digitalWrite(led2, HIGH);
  }
  else {
    digitalWrite(led1, LOW);
    digitalWrite(led2, HIGH);
  }
  Serial.print(thermocouple3.readCelsius());
  Serial.print(",");
  Serial.print(thermocouple4.readCelsius());
  Serial.print(",");
  Serial.print(thermocouple5.readCelsius());
  Serial.print(",");
  delay(500);
}
```

Programación de LabVIEW®

Panel frontal



Panel de bloques



Anexo 10:

Guía práctica

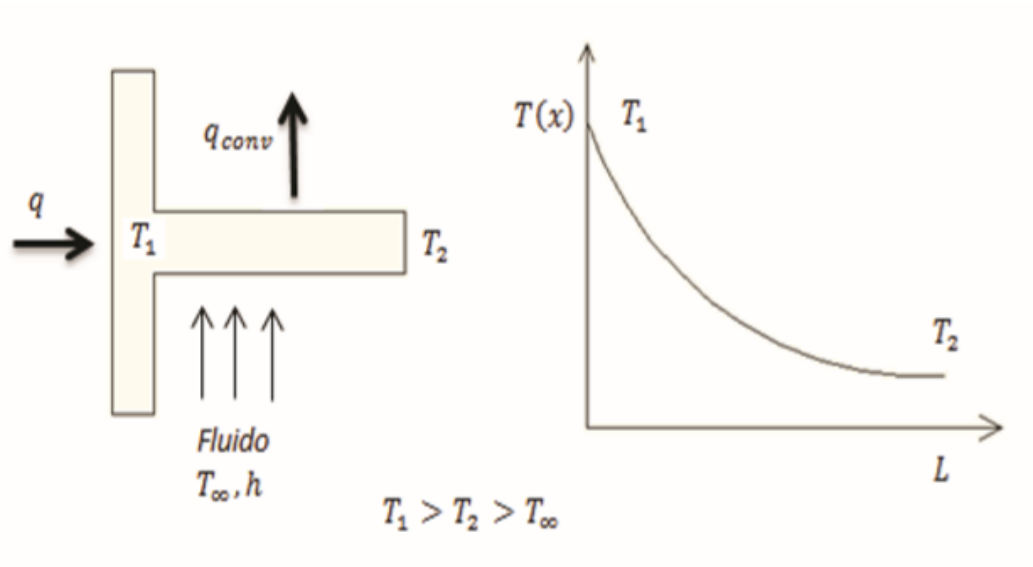
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

CARRERA: INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

MÓDULO: 6

GUIA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO: TRANSFERENCIA DE CALOR



PERÍODO ACADÉMICO: ENERO-MARZO 2021

RESPONSABLE: ……

CORREO ELECTRÓNICO: ……..

DEPENDENCIA PARA TUTORÍA: LABORATORIO DE ENERGÍA Y FLUIDOS

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO

PRÁCTICA NRO. 1

Sílabo: Transferencia de calor
Resultados de aprendizaje de la práctica: Conocer el funcionamiento del algoritmo desarrollado y obtener una visión clara sobre el error absoluto y relativo entre los datos obtenidos teóricamente, mediante simulación y experimentales acerca de las curvas de distribución de temperatura en tipos básicos de superficies extendidas.
Tiempo planificado en el sílabo: 4 horas
Tiempo de práctica por grupo de estudiantes: 4 horas
Número de estudiantes por grupo: 4 estudiantes: total 6 grupos

1. **TEMA:** UTILIZAR DEL ALGORITMO DE CÁLCULO, MODELADO 3D Y SIMULACIÓN TÉRMICA ENFOCADO A DIFERENTES TIPOS DE SUPERFICIES EXTENDIDAS Y REALIZAR UNA EVALUACIÓN SOBRE LAS CURVAS DE DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA EN TIPOS BÁSICOS DE SUPERFICIES EXTENDIDAS TANTO ANALÍTICA COMO EXPERIMENTALMENTE MEDIANTE UN MÓDULO DAQ.
2. **OBJETIVOS:**

   - Desarrollar destrezas para el manejo de la aplicación elaborada en Microsoft Excel® 2019 y del modelado 3D parametrizado en SolidWorks® 2017.
   - Identificar los elementos constitutivos del módulo DAQ.
   - Determinar el coeficiente de convección para los arreglos de aletas tipo aguja (cilíndricas y cuadradas) y para el tipo longitudinal (perfil rectangular).
   - Determinar el error relativo y absoluto entre los datos obtenidos analíticamente, mediante simulación y experimentalmente, en cuanto a la distribución de temperatura a lo largo de las aletas.

3. MATERIALES Y REACTIVOS (por grupo)

- Pasta Térmica
- Software Microsoft Excel® 2019
- Software SolidWorks® 2017 o superior
- Ejecutable desarrollado en LabVIEW®

4. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS (por grupo)

- Destornilladores (Punta plana y estrella)
- Módulo DAQ
- Una Pc

5. PROCEDIMIENTO:

PASO 1.- Abrir la aplicación programada en Microsoft Excel® 2019 e identificar los elementos constitutivos.

Los datos de Diseño del módulo DAQ son:

Aletas de longitudinales. –

Datos:	
Área de la superficie	
Largo "L" en (m):	0,1
Ancho "w" en (m):	0,1
Espesor "t1" en (m):	0,007
Cond_térmica "k1" en (W/m°C):	79,5
Arreglo de aletas	
Ancho "w2" en (m):	0,1
Espaciamiento entre aletas "S" en (m):	0,012
N° de aletas	8
Longitud "b" en (m):	0,1
Espesor "t2" en (m):	0,002
Cond_térmica "k2" en (W/m°C):	79,5
Espesor base "Sb" en (m):	0,002
Datos adicionales	
hext (W/m^2°C):	8
Tint (°C):	46
T∞(°C):	22
hc 1-2 (W/m^2°C):	150,37

Aletas tipo aguja. –

Datos:	
Área de la superficie	
Largo "L" en (m):	0,1
Ancho "w" en (m):	0,1
Espesor "t1" en (m):	0,007
Cond_térmica "k1" en (W/m°C):	79,5
Arreglo de aletas	
Ancho "w2" en (m):	0,1
Espaciamiento entre aletas "Sx" en (m):	0,0156
Espaciamiento entre aletas "Sy" en (m):	0,0156
Longitud "b" en (m):	0,09
Espesor "t2" en (m):	0,002
Cond_térmica "k2" en (W/m°C):	79,5
Espesor base "Sb" en (m):	0,0125
Datos adicionales	
hext (W/m^2°C):	38,22
Tint (°C):	50
T∞(°C):	22
hc 1-2 (W/m^2°C):	622,6

PASO 2.- Comprobar los valores del coeficiente de convección utilizando la siguiente metodología:

Consideraciones para el cálculo

- Toda la superficie de la aleta se encuentra a la temperatura de la base.
- Las propiedades del aire se toman a la temperatura promedio.
- El coeficiente de convección es constante sobre toda la superficie.

Aletas longitudinales

$$Ra_S = \frac{g * \beta * (T_s - T_\infty) * S^3}{\vartheta_{aire}^2}; Donde\ S = 0{,}012\ m\ y\ \ T_s = 36{,}04\ °C$$

$$Nu = \frac{h * S}{k_{aire}} = \left[\frac{576}{(Ra_S * S/b)^2} + \frac{2{,}873}{(Ra_S * S/b)^{0{,}5}}\right]^{-0{,}5}$$

$$h = Nu * \frac{k_{aire}}{S}$$

$$hr = \epsilon * \sigma * (T_s + T_\infty) * \left({T_s}^2 + {T_\infty}^2\right); Donde\ \epsilon_{promedio} = \ 0{,}47\ para\ la\ pintura\ Al$$

$h_T = h + hr$

Aletas tipo aguja

$Donde\ T_s = 46{,}04\ °C$

$V_{max} = \frac{S_T}{S_T - Sb} * V_{aire}; Donde\ S_T\ y\ S_L = 0{,}0156m;\ V_{aire} = 0{,}28\ m/s$

$Red_{max} = \frac{\rho * V_{max} * Sb}{\mu}$

$Nu_d = C * Red_{max}^{m} * Pr^{0{,}36} * \left(\frac{Pr}{Pr_s}\right)^{\frac{1}{4}}; Donde\ Pr_s\ se\ toma\ a\ la\ Temperatura\ T_s$

Donde los valores de C y m se toman de la siguiente tabla:

Configuración	$Re_{D,máx}$	C	m
Alineado	$10 - 10^2$	0,80	0,40
Escalonado	$10 - 10^2$	0,90	0,40
Alineado	$10^2 - 10^3$	Se aproxima como un cilindro único	
Escalonado	$10^2 - 10^3$	Se aproxima como un cilindro único	
Alineado ($S_T / S_L > 0{,}7$)	$10^3 - 2{\cdot}10^5$	0,27	0,63
Escalonado ($S_T / S_L < 2$)	$10^3 - 2{\cdot}10^5$	$0{,}35(S_T / S_L)^{1/5}$	0,60
Escalonado ($S_T / S_L > 2$)	$10^3 - 2{\cdot}10^5$	0,40	0,60
Alineado	$2{\cdot}10^5 - 2{\cdot}10^6$	0,021	0,84
Escalonado	$2{\cdot}10^5 - 2{\cdot}10^6$	0,022	0,84

Para $S_T / S_L < 0{,}7$, la transferencia de calor es ineficiente y los tubos alineados no se deben usar.

Dado que N_L (Número de aletas en la dirección horizontal) es menor a 20, se requiere un factor de corrección $C_2 = 0{,}86$; tomado de la siguiente tabla:

N_L	1	2	3	4	5	7	10	13	16
Alineado	0,70	0,80	0,86	0,90	0,92	0,95	0,97	0,98	0,99
Escalonado	0,64	0,76	0,84	0,89	0,92	0,95	0,97	0,98	0,99

Entonces: $Nu_{d1} = C_2 * Nu_d$

$h = Nu_{d1} * \frac{k_{aire}}{Sb}$

$hr = \epsilon * \sigma * (T_s + T_\infty) * \left({T_s}^2 + {T_\infty}^2\right); Donde\ \epsilon_{promedio} =\ 0{,}47\ para\ la\ pintura\ Al$

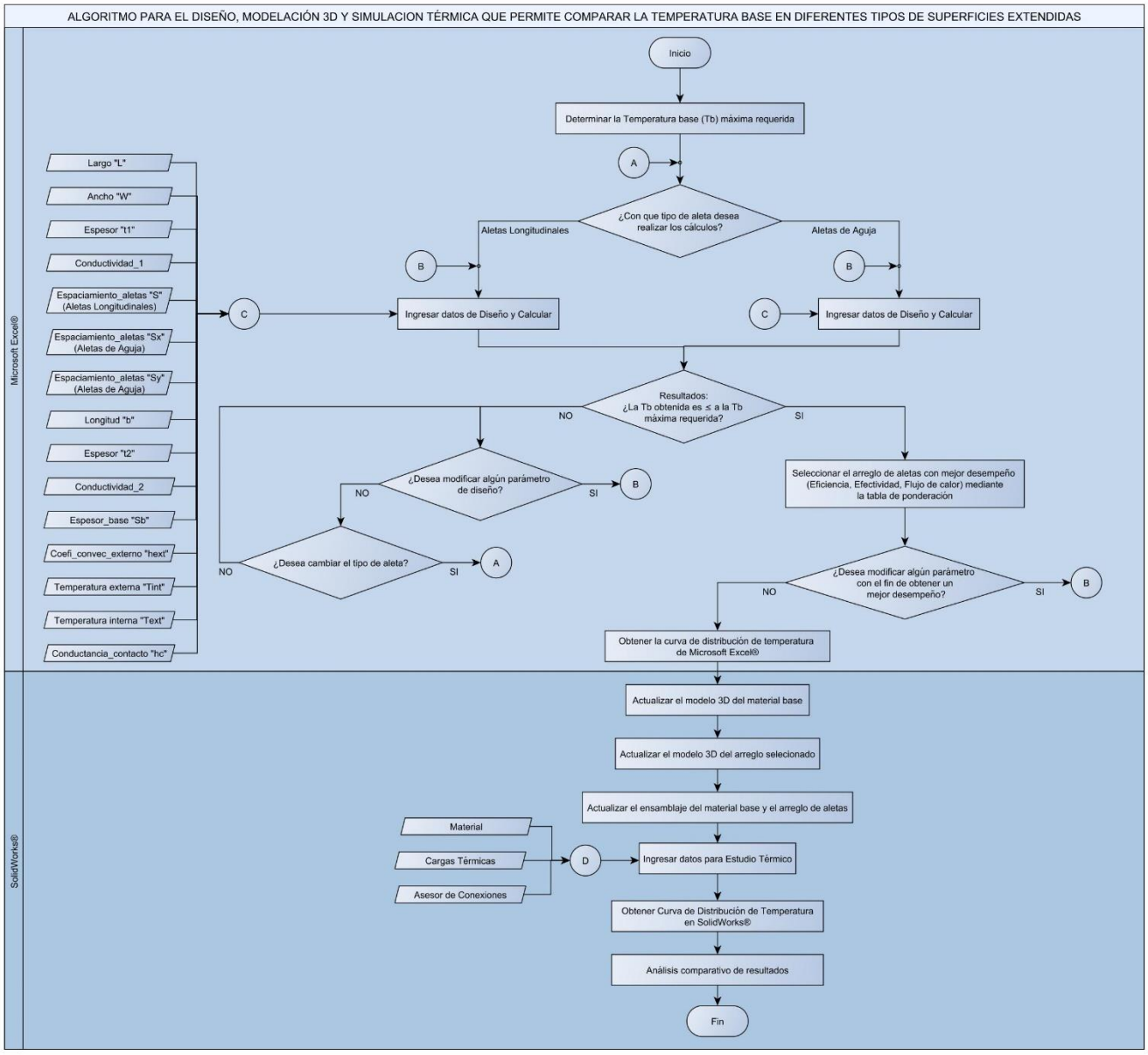
$h_T = h + hr$

Nomenclatura

$Ra_S =$ Número de Rayleigh considerando el espaciamiento "S" entre aletas
$g =$ Aceleración gravitacional (m/s^2)
$\beta =$ Coeficiente de expansión volumétrica $(1/K)$
$T_s =$ Temperatura de la superficie (ºC)
$T_\infty =$ Temperatura de los alrededores (ºC)
$b =$ Longitud de la aleta (m)
$S =$ Espaciado entre aletas (Aletas Longitudinales)
$\vartheta_{aire} =$ Viscosidad cinemática del aire (m^2/s)
$h =$ Coeficiente de convección $\left(\frac{W}{m^2 * K}\right)$
$Pr =$ Número de Prandtl
$k_{aire} =$ Conductividad térmica del aire $\left(\frac{W}{m*K}\right)$
$hr =$ Coeficiente de radiación $\left(\frac{W}{m^2 * K}\right)$
$\epsilon =$ Emisividad de la superficie
$\sigma =$ Constante de Stefan-Boltzmann igual a 5,67*10^{-8} $\frac{W}{m^2 * K^4}$
$h_T =$ Coeficiente total de convección y radiación
$V_{max} =$ Velocidad máxima que puede alcanzar el fluido (m/s)
$S_T =$ Espaciado transversal (Distancia entre centros de las aletas-Tipo Aguja)
$S_L =$ Espaciado Longitudinal (Distancia entre centros de las aletas-Tipo Aguja)
$Sb =$ Diámetro de la base de las aletas de aguja (m)
$V_{aire} =$ Velocidad del aire (m/s)
$Red_{max} =$ Número de Reynolds, se define en función de la velocidad máxima del fluido dentro del banco de tubos.
$\rho =$ Densidad del aire (kg/m^3)
$\mu =$ Viscosidad dinámica $\left(\frac{kg}{m*s}\right)$
$Nu_d =$ Número de Nusselt
$Pr_s =$ Numero de Prandtl a la temperatura inicial de la superficie
$C\ y\ m =$ Constantes adimensionales
$C_2 =$ Factor de correcion si $N_L < 20$

PASO 3.- Seguir cuidadosamente los pasos preestablecidos en el algoritmo tipo flujograma desarrollado.

Algoritmo desarrollado



PASO 4.- Identificar cada uno de los elementos constitutivos del módulo DAQ.
PASO 5.- Seleccionar el tipo de arreglo de aletas a utilizarse para la obtención de los datos experimentales.
PASO 6.- Empapar el arreglo de aletas con pasta térmica entre las superficies en contacto.
PASO 7.- Asegurar el arreglo de aletas a la placa base, mediante los pernos de sujeción.
PASO 8.- Colocar las termocuplas tipo K en los orificios de medición.
PASO 9.- Encender el ordenador destinado para el equipo.
PASO 10.- Abrir el archivo programado en LabVIEW®
PASO 11.- Seleccionar la dirección de la ubicación del archivo de Microsoft Excel® que se crea automáticamente, al momento de registrar los datos.

PASO 12.- Conectar el puerto USB al ordenador.
PAS0 13.- Ejecutar el programa de adquisición de datos de LabVIEW®.
PASO 14.- Encender la fuente de alimentación y regularla a 10V±0.5, con la cual se llega a la temperatura máxima en la fuente de calor de 46°C para el arreglo de aletas Longitudinales y 50°C para el arreglo de aletas Tipo Aguja.
PASO 15.- Esperar a que la temperatura se estabilice a lo largo de las aletas: 40 min para el arreglo de aletas Longitudinales y 60 min para el arreglo de aletas Tipo Aguja.
PASO 16.- Registrar los datos de temperatura utilizando el botón (Ok) incorporado en la interfaz de LabVIEW® 2018.
PASO 17.- Examinar y graficar los datos obtenidos experimentalmente en la hoja de Microsoft Excel.
PASO 18.- Obtener los errores relativo y absoluto entre los datos experimentales, teóricos y de simulación.
PASO 19.- Si se desea obtener los datos de otro tipo de arreglo, primeramente, apagar la fuente de calor, desconectar el puerto USB, retirar las termocuplas, sacar el arreglo de aletas con guantes que soporten altas temperaturas, colocar el nuevo arreglo y esperar a que la temperatura se estabilice nuevamente.

6. RESULTADOS: (a elaborar por estudiante)

- Calcular el coeficiente total de convección y radiación tanto para las superficies extendidas tipo aguja como para las longitudinales
- Elaborar un cuadro comparativo entre los datos teóricos, simulados y experimentales, obteniendo el error relativo y absoluto.
- Elaborar en una sola grafica las curvas de distribución de temperatura teórica, simulada y experimental para cada tipo de arreglo.
- Análisis de resultados

7. CONCLUSIONES: (a elaborar por el estudiante en función de los objetivos)

8. RECOMENDACIONES: (a elaborar por el estudiante)
Indicar una o dos recomendaciones (identificadas en el desarrollo de la práctica) que se deba realizar para mejorar el aprendizaje práctico y teórico del estudiante aparte de las ya citadas.

- Realizar el reconocimiento de cada uno de los elementos constitutivos del módulo DAQ para su posterior uso.
- Utilizar pasta térmica entre las superficies en contacto con el fin de reducir las cavidades de aire que se forman entre dichas superficies.
- Una vez realizada la adquisición de datos de un arreglo de aletas, se recomienda colocar la siguiente y esperar alrededor de 10 min hasta que el calor que se encontraba acumulado en la placa fuente de calor se distribuya en el nuevo arreglo de aletas

9. PREGUNTAS DE CONTROL (deben ser respondidas por el estudiante).

- ¿Qué entiende por superficie extendida?
- ¿En qué aplicaciones se puede implementar este tipo de superficies?
- ¿Cuáles son las condiciones de frontera para la punta de aleta?
- ¿A qué se debe el porcentaje de error obtenido entre los datos experimentales, teóricos y simulados??

10. BIBLIOGRAFÍA

Cengel, Y., & Ghajar, A. (2011). *Transferencia de calor y masa.* México: McGRAW-HILL.

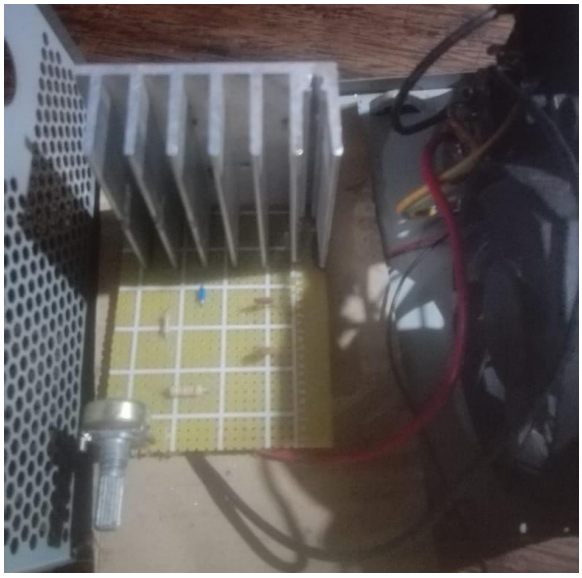
Incropera, F., & DeWITT, D. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor.* México: PRENTICE HALL.

KRAUS, A. D., AZIZ, A., & WELTY, J. (2001). *Extenced surface heat transfer.* CANADA: JOHN WILEY;SONS.

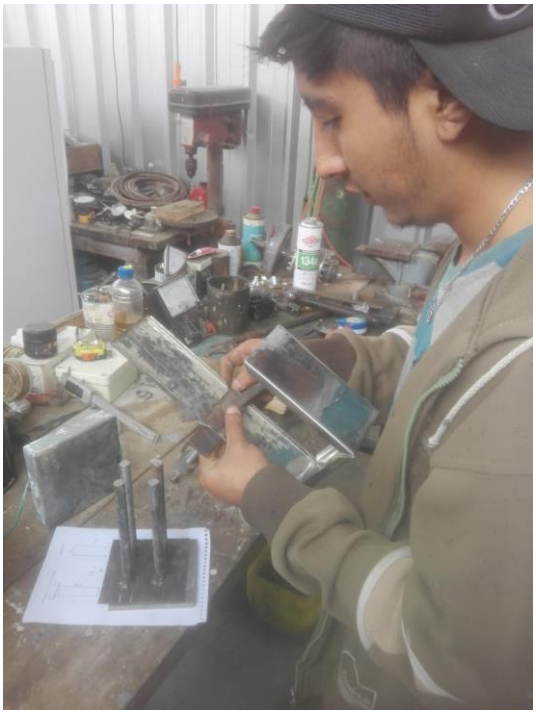
Kreith, F., Manglik, R., & Bohn, M. (2012). *Principios de transferencia de calor.* México: CENGAGE Learning

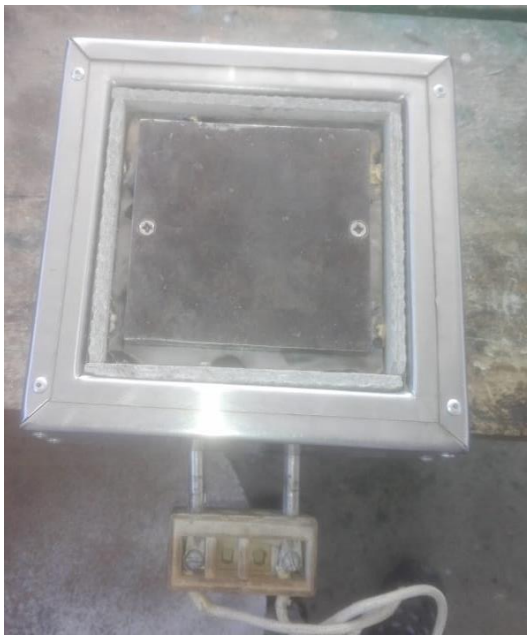
Anexo 11:

Construcción del módulo DAQ

<table>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td colspan="2">Elaboración del regulador de voltaje (AC)</td></tr>
</table>

Construcción de los arreglos de aletas





Construcción de la fuente de calor

<table>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td colspan="2">Ensamblaje y pintada del módulo DAQ</td></tr>
</table>

Módulo DAQ terminado y en operación