



TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO

**DISEÑO DE UN EQUIPO DE PRUEBA PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE
DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN FORZADA INTERNA**

AUTORES

YOELI ANGARITA SANDOVAL 1098658437
JOSMAN FABIAN PEREZ GALVIS 1098655070
CESAR EDUARDO MORENO MANRIQUE 13930005

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERIA ELECTROMECHANICA

Fecha de Presentación: (26-04-2020)



TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO

**DISEÑO DE UN EQUIPO DE PRUEBA PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE
DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN FORZADA INTERNA**

AUTORES

YOELI ANGARITA SANDOVAL 1098658437
JOSMAN FABIAN PEREZ GALVIS 1098655070
CESAR EDUARDO MORENO MANRIQUE 13930005

**Trabajo de Grado para optar al título de
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

DIRECTOR

MSc. LEIDYS MARLEYN RODRÍGUEZ CASTRO

CODIRECTOR

ALEXIS LOPEZ FIGUEROA

Proyecto de investigación- DIANOIA

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA

Fecha de Presentación: (26-04-2020)

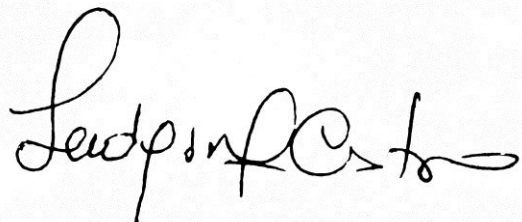
Nota de Aceptación

Trabajo de grado titulado: DISEÑO DE UN EQUIPO DE PRUEBA PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN FORZADA INTERNA

Presentado por: YOELI ANGARITA SANDOVAL, JOSMAN FABIAN PEREZ GALVIS Y CESAR EDUARDO MORENO. Para optar el título de Ingeniero electromecánico.



Firma del jurado



Firma del Jurado

DEDICATORIA

Especialmente a Dios, quien nos permite existir y desempeñar lo que queremos ser en la vida, es mi refugio en todo momento. También a mi familia, quienes gracias a su apoyo incondicional me han permitido ser lo que soy hoy día, porque con su ejemplo me han demostrado, que hay que ser personas humildes por encima de todo. No podía faltar a mis amigos, que hicieron inolvidable el paso por esta etapa.

Yoeli Angarita Sandoval

En primer lugar a mi familia por su valiosa colaboración, apoyo, comprensión, cariño y paciencia. Ya que sin su ayuda, este logro no sería una realidad. Son el motor de mi vida, por ustedes quiero cada día seguir adelante, persiguiendo todos mis sueños y logros para darles una vida mejor. A mis amigos que siempre estuvieron atentos a brindarme su colaboración.

Josman Fabián Pérez Galvis

A Dios, por su luz y sabiduría que ha guiado mi camino, a mis amigos por estar siempre en los momentos más difíciles, brindándome sus consejos con paciencia y cariño. A mi familia por siempre sentir su apoyo y recordarme lo maravilloso que es ser parte de ellos, por su comprensión, su amor y permitirme soñar.

Cesar Eduardo Moreno Manrique

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer en primer lugar a Dios, por guiarnos en el camino y fortalecernos espiritualmente para empezar un camino lleno de éxito. Así mismo, mostraremos nuestra gratitud a todas aquellas personas que estuvieron presentes en la realización de esta meta, de este sueño que es tan importante para nosotros, reconocer todas sus ayudas, sus palabras motivadoras, sus conocimientos, sus consejos y su dedicación.

De igual manera, nuestros más sinceros agradecimientos a nuestro director del proyecto, quien con su conocimiento y su guía fue una pieza clave para que lográramos desarrollar una clave de hechos que fueron imprescindibles para cada etapa de desarrollo del trabajo.

A nuestros compañeros, quienes a través del tiempo fuimos fortaleciendo una amistad y creando una familia, muchas gracias por toda su colaboración, por convivir todo este tiempo a nuestro lado, por compartir experiencias, alegrías, frustraciones, llantos, tristezas, peleas, celebraciones y múltiples factores que ayudaron a que hoy seamos como una familia, por aportarnos confianza y por crecer juntos en este proyecto, muchas gracias.

Por último, quiero agradecer a la base de todo, a nuestra familia, en especial a los padres, que quienes con sus consejos fueron el motor de arranque y constante motivación, muchas gracias por su paciencia y comprensión, y sobre todo por su amor.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN EJECUTIVO	16
INTRODUCCIÓN	18
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	20
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	22
1.3. OBJETIVOS.....	25
1.3.1. Objetivo general.....	25
1.3.2. Objetivos específicos.....	25
1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES.....	26
2. MARCOS REFERENCIALES	33
2.1. MARCO HISTÓRICO.....	33
2.2. MARCO TEÓRICO	36
2.3. MARCO CONCEPTUAL	49
2.4. MARCO LEGAL	54
3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO	58
3.1. MODELAR UN BANCO DE PRUEBAS MEDIANTE EL SOFTWARE SOLIDWORKS TENIENDO EN CUENTA LAS DIMENSIONES, CONTROL Y FUNCIONAMIENTO TÉRMICO DEL SISTEMA.....	58
3.1.1. Cálculos para la determinación del Coeficiente de convección forzada interna del banco de pruebas de transferencia de calor.....	63

3.1.2. Diseño del banco de pruebas de convección forzada	74
3.1.3. Planos de la estructura y tubería	75
3.1.4. Planos de accesorios.....	78
3.2. REALIZAR LA CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS, Y PUESTA EN MARCHA DEL EQUIPO EVALUANDO DE MANERA DIDÁCTICA EL VALOR DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN FORZADA INTERNA.....	83
3.3. IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE CONTROL EL CUAL PERMITA LA REGULACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LAS VARIABLES DERIVADAS DEL PROCESO DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN FORZADA INTERNA.....	94
3.3.1. Elementos utilizados en el proyecto.....	106
3.3.2. Descripción del proyecto.....	112
3.3.3. Programación del microcontrolador	115
3.4. ELABORAR GUÍAS OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DEL BANCO DE PRUEBAS PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN FORZADA INTERNA.....	148
3.4.1. Guía básica de seguridad, operación y mantenimiento preventivo del banco de prueba de convección forzada interna.....	164
3.4.2. Riesgos a la Salud en Operaciones del Banco de Prueba de Convección Forzada	167
3.4.3. Guía de Mantenimiento y operación del Banco de Pruebas de Convección Forzada	172
4. RESULTADOS.....	175
5. CONCLUSIONES	180

6. RECOMENDACIONES	181
7. BIBLIOGRAFÍA	182
ANEXOS	184

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Esquema de un cilindro hueco.	38
Figura 2. Sistema compuesto por cilindro.	40
Figura 3. Flujo Paralelo Sobre Placas Planas	47
Figura 4. Disposición de tubos alineados y escalonados en un banco de pruebas.	49
Figura 5. Formación de la capa límite y separación sobre un cilindro circular en flujo cruzado	50
Figura 6. Emisión de radiación monográfica	51
Figura 7. Marco legal.....	55
Figura 8. Unidad de Transferencia de Calor por Convección Libre y Forzada.	62
Figura 9. Horno de Convección Forzada.....	63
Figura 10. Dimensiones de la tubería.....	64
Figura 11. Diámetro interior nominal	68
Figura 12. Ubicación de accesorios	75
Figura 13. Dimensión de las líneas de tubería	76
Figura 14. Dimensión de la estructura Fuente: Autor	77
Figura 15. Dimensiones de válvula (7 unidades).....	78
Figura 16. Dimensiones de las líneas de tubería	79
Figura 17. Dimensiones UNION T (13 unidades)	80
Figura 18. Dimensiones de indicador de presión (4 unidades) y temperatura (4 unidades).....	81
Figura 19. Dimensiones de compresor (1 unidad).....	82
Figura 20. Proceso de construcción	84

Figura 21. Estructura	85
Figura 22. Ubicación de accesorios	86
Figura 23. Ensamble de accesorios y tubería	88
Figura 24. Instalación de soportes	89
Figura 25. Anclaje de líneas de tubería	89
Figura 26. Instalación de indicadores de presión y temperatura	90
Figura 27. Instalación de compresor	90
Figura 28. Instalación de computador	91
Figura 29. Instalación de resistencia	92
Figura 30. Aplicación de pintura	92
Figura 31. Drum	93
Figura 32. Banco final.....	94
Figura 33. Panel frontal	96
Figura 34. Diagrama de bloques	97
Figura 35. Obtención de medidor de temperatura	97
Figura 36. Grupo de medidores de temperatura	98
Figura 37. Display	98
Figura 38. Configure.....	99
Figura 39. Puerto configurado a 9600 Baudios	100
Figura 40. Recepción	101
Figura 41. Variables numéricas.....	102
Figura 42. Conversión de números a carácter	103
Figura 43. Match pattern	104
Figura 44. Representación de estructura	104
Figura 45. While Loop	106
Figura 46. Proceso de transmisión de señal	107
Figura 47. Conexiones del integrado.....	108
Figura 48. Integrado de Comunicación Serial	109

Figura 49. Pines del Microcontrolador PIC 16F887	110
Figura 50. Representación LM35	111
Figura 51. Top3 Insulated (BTA41)	112
Figura 52. Cara inferior.....	113
Figura 53. cara superior	114
Figura 54. Tarjeta de control	114
Figura 55. Líneas de transferencia	120
Figura 56. Evidencia.....	121
Figura 57. Tiempo Vs temperatura entrada.....	122
Figura 58. Temperatura digital vs análoga	123
Figura 59. Temperatura entrada Vs h_1 Coeficiente de convección forzada	123
Figura 60. Líneas de transferencia	124
Figura 61. Evidencia.....	124
Figura 62. Tiempo Vs temperatura entrada.....	125
Figura 63. Temperatura digital vs análoga	126
Figura 64. Temperatura entrada Vs h_2 Coeficiente de convección forzada.....	127
Figura 65. Líneas de transferencia	128
Figura 66. Evidencia.....	128
Figura 67. Tiempo Vs temperatura entrada.....	129
Figura 68. Temperatura digital vs análoga Fuente: Autor	129
Figura 69. Temperatura entrada Vs h_3 Coeficiente de convección forzada.....	130
Figura 70. Líneas de transferencia	131
Figura 71. Evidencia.....	131
Figura 72. Tiempo Vs temperatura entrada.....	132
Figura 73. Temperatura digital vs análoga	132
Figura 74. Temperatura entrada Vs H_4 Coeficiente de convección forzada	133
Figura 75. Líneas de transferencia	134
Figura 76. Evidencia.....	134

Figura 77. Tiempo Vs temperatura entrada.....	135
Figura 78. Temperatura digital vs análoga	136
Figura 79. Temperatura entrada Vs H1 Coeficiente de convección forzada	136
Figura 80. Líneas de transferencia	138
Figura 81. Evidencia.....	138
Figura 82. Tiempo Vs temperatura entrada.....	139
Figura 83. Temperatura digital vs análoga	140
Figura 84. Temperatura entrada Vs H2 Coeficiente de convección forzada	141
Figura 85. Líneas de transferencia	142
Figura 86. Evidencia.....	142
Figura 87. Tiempo Vs temperatura entrada.....	143
Figura 88. Temperatura digital vs análoga	143
Figura 89. Temperatura entrada Vs H3 Coeficiente de convección forzada	144
Figura 90. Líneas de transferencia	145
Figura 91. Evidencia.....	145
Figura 92. Tiempo Vs temperatura entrada.....	146
Figura 93. Temperatura digital vs análoga	146
Figura 94. Temperatura entrada Vs h_4 Coeficiente de convección forzada.....	147
Figura 95. Plano de instrumentación.....	176
Figura 96. Medidas del banco de pruebas (mm)	177
Figura 97. Banco de pruebas final.....	178
Figura 98. Herramienta para visualizar el comportamiento de la temperatura y cálculo del $h_{conectiva}$ en cada tramo de tubería	179

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Variables Comparativas de Flujos Aire-Agua.....	59
Tabla 2. Condiciones de trabajo.....	61
Tabla 3. Conversión de unidades de diámetro.....	64
Tabla 4. Propiedades del Aire.....	66
Tabla 5. Resumen de datos.....	73
Tabla 6. Especificación de materiales y cantidad.....	74
Tabla 7. Materiales y Equipos.....	87
Tabla 8. Descripción de programa.....	115
Tabla 9. Practica identificación de equipos.....	149
Tabla 10. Determinación de presiones estáticas.....	159
Tabla 11. Balance de energía termodinámico.....	161
Tabla 12. Determinación del coeficiente de transferencia de calor por convección forzada interna.....	163
Tabla 13. Reglamentos de Seguridad para el Banco de Pruebas de Convección Forzada Interna.....	165
Tabla 14. Herramientas y materiales.....	166
Tabla 15. Herramientas Guía de Revisión y Mantenimiento del Banco de Convección Forzada.....	172
Tabla 16. Bitácora de Revisión Técnica del Banco de Convección Forzada.....	174

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1. Ficha técnica compresor	184
Anexo 2. Ficha técnica resistencia	185
Anexo 3. Ficha técnica Valvula de bola.....	186
Anexo 4. Indicador de temperatura	187
Anexo 5. Indicador de presión.....	188
Anexo 6. Ficha técnica Tee	189
Anexo 7. Valvula de globo.....	190
Anexo 8. Ficha técnica tubería	191
Anexo 9. Ajuste de indicadores de presión y temperatura	192

RESUMEN EJECUTIVO

La investigación se soporta bajo el objetivo de la metodología descriptiva la cual consiste en la conceptualización teórica de la transferencia de calor, como principal factor para el diseño de un banco de pruebas para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección forzada interna el cual fue modelado en el software Solidworks y posteriormente construido permitiendo determinar el coeficiente por convección forzada interna, para el análisis de la variación de velocidad y el régimen del flujo.

El proyecto se dividió en 3 etapas, la primera etapa consistió en el estudio de las variables que intervinieron en el diseño del banco de pruebas permitiendo determinar el coeficiente de calor y demás relaciones entre las variables y los factores que dominarán el diseño, además se encontraran las leyes y ecuaciones que intervienen en el tema de transferencia de calor por convección forzada interna.

La segunda etapa consistió en realizar el diseño de un banco de prueba para determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección forzada interna con el fin de conocer las características principales del equipo como son: el tipo de conducto, las dimensiones, el sistema de control, parámetros variables y estables y el mecanismo de salida que se le otorgara a la variable "h", entre otros. Con el software Solidworks se hizo el modelado del equipo diseñado para la verificación y evaluación de los parámetros asignados para luego realizar la construcción del banco de pruebas.

Se elaboraron guías para que los estudiantes puedan realizar prácticas en el banco de pruebas determinando el coeficiente de transferencia de calor por

convección forzada interna y comparar con los valores teóricos para su respectivo análisis, también guías para el correcto mantenimiento del banco de pruebas previniendo el deterioro por falta de uso o por el uso indebido del banco.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, es de importancia observar y realizar pruebas en el ámbito de transferencia de calor, para determinar su respectivo coeficiente, además de analizar y discutir el fenómeno dentro de la ingeniería y su ocurrencia en diversos casos de la vida cotidiana, como lo es el desplazamiento de un fluido hacia otro entorno se considera la realización de una propuesta la cual plantea la viabilidad de diseñar y construir un equipo para determinar el coeficiente por convección forzada. Con el presente trabajo se busca principalmente determinar experimentalmente y predecir el coeficiente de transferencia de calor en un banco de pruebas.

Como principal aspecto de justificación para el desarrollo del presente proyecto de investigación, se tiene en cuenta la importancia de realizar pruebas en el ámbito de transferencia de calor, donde se logre determinar su respectivo coeficiente; de igual forma analizar y discutir el fenómeno dentro de la ingeniería y su ocurrencia en diversos casos de la vida cotidiana como lo es el desplazamiento de un fluido hacia otro entorno. Lo cual permita determinar el coeficiente por convección forzada. De igual forma se establece que el desarrollo de este estudio llega a contribuir al estudiante a identificar variables importantes como problemas, retos de la ingeniería y la estimulación de puntos de vista objetivos y diversos para la solución de estas dificultades.

Para lograr desarrollar este trabajo se tuvo en cuenta aspectos como modelar un banco de pruebas mediante el software Solidworks, realizar la construcción del banco de pruebas e implementar un sistema de control el cual permita la regulación y visualización de las variables derivadas del proceso de transferencia de calor por convección forzada interna.

Como diseño metodológico se estableció una investigación de tipo descriptiva, la cual radica en la conceptualización teórica de la transferencia de calor, como principal factor para el diseño de un banco de pruebas y el cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección forzada interna. Por otra parte, cuenta con un enfoque cuantitativo y cualitativo que permite un análisis más amplio sobre el tema de estudio.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las universidades se considera un factor indispensable la inclusión de materias teóricas – prácticas y de laboratorio para un mejor aprendizaje de las temáticas, es por esto que los proyectos de bancos para los laboratorios son muy populares sobre todo en las universidades públicas, donde los estudiantes buscan mejorar la calidad de aprendizaje en diferentes áreas. En las Unidades Tecnológicas de Santander existen diferentes bancos que abordan el tema de transferencia calor, pero muchos de ellos no se tienen en cuenta el coeficiente de cada tipo de transferencia de calor, lo cual es muy importante a tener en cuenta dentro el análisis de cada tipo de transferencia de calor.

No obstante los equipos comerciales para pruebas de transferencia de calor son muy diversos dependiendo del tipo de transferencia de calor, a pesar de eso su adquisición y costos son muy elevados de acuerdo al prototipo escogido, sin embargo la determinación del coeficiente de transferencia de calor se limita a dispositivos cuyo diseño sea enfocado en la convección forzada y calcularlo depende de parámetros definidos como flujo utilizado para refrigerar o calentar, tipo de material, superficie y geometría de la sección o cámara de transferencia, además de la dirección o sentido del transporte de flujo, velocidad y flujo volumétrico.

Por otra parte, los modos de transferencia de calor comúnmente usados para la determinación de la variación de temperatura de un sistema a otro; es fundamental en el estudio de sistemas térmicos por lo que el campo ingenieril ve la necesidad

de incluir el análisis de problemas de interés analítico en el que se utilizan cálculos adimensionales como el coeficiente de transferencia de calor, número de Nusselt, Reynolds y Prandtl. Asimismo, el desarrollo de actividades prácticas mediante la experimentación que permite evidenciar el comportamiento del flujo de trabajo determinando el coeficiente por convección forzada.

El caso de estudio presentado, se apoya en la falta de implementación de equipos de pruebas como el que se quiere construir en el presente proyecto para las Unidades Tecnológicas de Santander, el cual tiene la importancia de determinar el coeficiente por convección forzada interna producida por la intervención de un mecanismo que genera una fuerza impulsora responsable del movimiento forzado del fluido de trabajo, en este caso el aire utilizado como medio de distribución de carga calorífica hacia tres secciones de tuberías de diámetros distintos relacionando así las características físicas presentadas en la transferencia de calor. Con base en lo señalado se orienta la investigación a la solución de una pregunta problema en la que se plantea en ¿Cómo determinar experimentalmente el coeficiente de transferencia de calor por convección forzada de flujo interno para el aire como fluido de trabajo?

1.2. JUSTIFICACIÓN

La termodinámica define la transferencia de calor como la forma de energía que se transfiere entre dos sistemas debido a la diferencia de temperaturas, esta a su vez se clasifica en conducción, radiación y convección siendo esta última el punto de apoyo para el desarrollo de este trabajo investigativo (Cengel & Boles, 2015).

Con base en la importancia de observar, realizar pruebas en el ámbito de transferencia de calor para determinar su respectivo coeficiente; además de analizar y discutir el fenómeno dentro de la ingeniería y su ocurrencia en diversos casos de la vida cotidiana como lo es el desplazamiento de un fluido hacia otro entorno se considera la realización de una propuesta la cual plantea la viabilidad de diseñar y construir un equipo para determinar el coeficiente por convección forzada.

Cengel & Boles (2015) indican que la transferencia de calor por convección se caracteriza por ser uno de los tipos de transferencia de calor que se da cuando interviene un fluido (gas o líquido) en movimiento que transporta la energía térmica entre dos zonas y se pueden presentar de manera libre cuando el propio fluido extrae calor de la zona caliente y cambia su densidad haciendo que se desplace hacia la zona más fría donde cede su calor. Y, forzada a través de un ventilador (aire) o bomba (agua) se mueve el fluido a través de una zona caliente y éste transporta el calor hacia la zona fría (Arevalo, 1998).

Cengel Y. A (2007) señala que la transferencia de calor por conducción forzada depende de dos condiciones importantes si es de manera externa o interna, ya que de estas dos opciones dependerá grandemente el diseño y el tipo de equipo que

se desee establecer para el banco de prueba, debido a que la conducción forzada externa aplica a placas o tuberías de diversas geometrías pero con flujo cruzado o superficial en algunos casos para la transferencia de calor y esta condición hace variar las condiciones a determinar en un equipo operativo, mientras que la conducción forzada interna siempre se da para enfriamiento o calentamiento en flujo al interior de una tubería.

Para determinar el coeficiente de transferencia de calor hay que tener en cuenta el estado del fluido, tipo de conducto, tipo de material, distancia que recorre el fluido, temperatura, caudal, presión y velocidad del fluido son las mínimas variables a tener en cuenta en el momento de diseñar el banco de transferencia de calor por convección forzada interna. Los equipos de prueba que determinan el coeficiente de convección facilitan a los estudiantes realizar prácticas de toma de datos debido a que facilitan la comparación de datos y minimizan el porcentaje de error de los datos obtenidos experimentalmente y así poder demostrar la veracidad de las fórmulas ya propuestas por los científicos.

Los métodos para la transferencia por conducción forzada son diversos entre los más comunes podemos encontrar los de flujo paralelo sobre placas planas, estos se dan cuando el flujo en movimiento pasa sobre una placa plana longitudinal en la misma dirección de manera paralela a la posición de la placa, donde la coordenada x se mide a lo largo de la superficie de la placa desde el borde de ataque cuando el flujo se acerca con una velocidad uniforme V y una T^∞ y es cuando el flujo en la capa límite de la placa se inicia como laminar, pero si la placa es lo suficientemente larga, el fluido empezará su periodo de transición donde el número de Reynolds alcanza su valor más crítico llegando al punto de turbulencia del flujo.

El número de Stanton (St) , numero de prandtl, entre otros parámetros determinados en un banco de pruebas de convección forzada facilitan la interpretación del comportamiento de flujos sometidos a cargas caloríficas y como estos en movimiento por secciones de tubería permiten la extensión del calor por métodos como la convección forzada teniendo en cuenta el tipo de material utilizado, parámetros visibles comúnmente en cualquier tipo de industria por lo que ayuda a contribuir al estudiante a identificar variables importantes como problemas, retos de la ingeniería y la estimulación de puntos de vista objetivos y diversos para la solución de estas dificultades.

Sin embargo los procesos industriales conllevan a la utilización de procesos rápidos y eficientes al utilizar cambio de estado y energía en sustancias de trabajo, por lo tanto la determinación del coeficiente de convección forzada da lugar identificar como parámetro reconocible la efectiva transferencia o cambio de calor en sistemas de trabajo con diferenciales de temperatura para prever una acumulación de energía inestables o malos funcionamientos de equipos energéticos y limitar sus riesgos operativos al momento de controlar variables definidas como presión, temperatura, caudal de flujo en secciones de transporte o almacenamiento de fluidos de trabajo.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un banco de pruebas para la determinación del coeficiente de transferencia de calor por convección forzada interna usando el aire como flujo de trabajo.

1.3.2. Objetivos específicos

- Modelar un banco de pruebas mediante el software Solidworks teniendo en cuenta las dimensiones, control y funcionamiento térmico del sistema.
- Realizar la construcción del banco de pruebas, y puesta en marcha del equipo evaluando de manera didáctica el valor del coeficiente de transferencia de calor por convección forzada interna.
- Implementar un sistema de control el cual permita la regulación y visualización de las variables derivadas del proceso de transferencia de calor por convección forzada interna.
- Elaborar guías operación y mantenimiento preventivo y correctivo del banco de pruebas para determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección forzada interna.

1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES

Linarez & Rodriguez(2015) refieren que el rediseño y construcción de un condensador de tubos y coraza destinado al estudio de convección forzada, con y sin cambio de fase fue desarrollado con el propósito de dotar al Laboratorio de Fenómenos de Transporte de la UNEXPO Vice-rectorado Barquisimeto, de un equipo didáctico para realizar experiencias prácticas que permitan analizar los fenómenos mencionados. La investigación se realizó en tres fases: la primera fue el diagnóstico, llevada a cabo a través de la técnica de la encuesta.

Tales fenómenos se llevan a cabo en equipos de intercambio térmico llamados condensadores, donde el vapor pasa a líquido y éste a su vez puede ser su enfriado. Los más usados a nivel industrial por su sencillez y área de transferencia de calor ofrecida son los intercambiadores de tubos y coraza; en especial los condensadores 1-2 (un paso por la coraza y dos por los tubos), en los cuales se requiere modificaciones a la entrada del vapor a fin de evitar caídas de presión considerables en la coraza. Su diseño se fundamenta en la determinación de los coeficientes de transferencia de calor por convección tanto del lado tubo, como del lado coraza. (Linarez & Rodriguez, 2015, pág. 11)

El rediseño y construcción de un condensador para el estudio de Convección Forzada permitió dotar al Laboratorio de Fenómenos de Transporte del Departamento de Ingeniería Química de la UNEXPO Vice-rectorado Barquisimeto, de un equipo didáctico para la realización de la práctica mencionada. Esta investigación inició con la aplicación de una encuesta, la cual presentó un alto nivel de confianza según el Coeficiente de Alfa de Cronbach (0,97) y sus resultados permitieron comprobar la necesidad de sustituir el equipo de

intercambio térmico disponible en el laboratorio, con el fin alcanzar los objetivos planteados en la práctica diseñada para tal fin (Linarez & Rodriguez, 2015).

Sambrano(2013) menciona que el avance acelerado de la tecnología, especialmente en los campos de la manufactura y la electrónica requiere cada vez mejores técnicas para controlar temperaturas de operación, tasas de disipación de calor y ambientes controlados, ya sea para la manufactura de algún producto o su operación. El enfriamiento por chorros de impacto es una de las técnicas utilizadas para cumplir el objetivo, su aplicación es uno de los campos más prometedores cuando se requieren altas tasas de disipación de calor.

El estudio de la naturaleza y comportamiento de este tipo de fenómenos térmicos se ha venido realizando por la comunidad académica en el campo de la transferencia de calor desde hace unas décadas atrás. Sin embargo, el conocimiento adquirido es aún muy limitado, ya que sólo se cuenta con estudios bajo condiciones muy particulares para las diferentes aplicaciones mencionadas. El enfriamiento por impacto de chorros puede darse por chorro único o por arreglos de chorros, enfriamiento en una fase (líquido o gas) o en dos fases (líquido y gas). El presente diseño por sencillez será limitado al enfriamiento por chorro libre único en una fase (líquido). El fluido de enfriamiento será agua a temperatura ambiente. (Sambrano, 2013, pág. 23)

El presente trabajo propone el diseño de un banco de pruebas para el cálculo experimental del coeficiente promedio de transferencia de calor por convección en chorros líquidos que impactan sobre una superficie calentada. El proyecto presenta una extensa revisión bibliográfica acerca de tecnologías de remoción de calor similares, investigaciones, correlaciones desarrolladas y diferentes métodos para obtener el flujo de calor. Para el diseño se consideraron varias métodos de

obtención del flujo de calor, finalmente con ayuda de una matriz de decisión se seleccionó el método de conducción unidireccional en estado estable, debido principalmente a su sencillez de modelo matemático y menor costo de inversión por equipos e instrumentación (Sambrano, 2013).

Betancurt(2011) comunica que la convección es la forma de transporte de calor a través de un medio fluido, ya sea gas o líquido, entre una temperatura en la superficie (correspondiente a la interface fluido-sólido) y una temperatura en el seno del mismo fluido. Tal manera de transporte de calor por un medio material está gobernada por la ecuación llamada “Ley de Enfriamiento de Newton” que plantea que el flujo de calor es directamente proporcional al área de la superficie que sirve de interface entre el fluido y el sólido, y a la diferencia entre estas dos temperaturas. A la constante de proporcionalidad se le denomina coeficiente de transferencia de calor.

Los coeficientes se pueden determinar por medición indirecta para un caso particular de flujo en donde se requiere medir el área, las temperaturas, la velocidad y el flujo de calor, generalmente usando medios potencio métricos. No se dispone de una práctica experimental para la determinación local de dichos coeficientes, razón por la que se propone un modelo que, a partir de la descripción del funcionamiento del termómetro de vidrio en estado transitorio, permita lograr este objetivo en ciertas situaciones físicas particulares. Además no se encuentra en la literatura un modelo para el termómetro de vidrio que parece ser reserva de los fabricantes. (Betancurt, 2011, pág. 16)

El modelo planteado y resuelto para el funcionamiento del termómetro de vidrio permite determinar experimentalmente los coeficientes de transferencia de calor bajo las restricciones impuestas. Los resultados de los coeficientes obtenidos experimentalmente fueron validados para el funcionamiento del termómetro en

posición vertical y horizontal rodeado de aire estancado, que representa la transferencia de calor por convección natural en aire ($Pr=0.72$ aprox.) alrededor de un cilindro vertical (flujo externo en el bulbo) para un régimen laminar. Estos valores se alejan de los pronosticados por la literatura en promedio un 35% para los que se encuentran orientados verticalmente y en un 9 % para los que están horizontalmente; cabe notar que los modelos de la literatura también tienen un margen de incertidumbre (Betancurt, 2011).

Glimour & David(2012) mencionan que en el presente proyecto se diseña y construye un equipo para el estudio de la Transferencia de Calor por convección y radiación combinadas para el Laboratorio de Transferencia de Calor de la Facultad de Ingeniería Mecánica. El desarrollo de la tesis esta dado y estructurados de la siguiente manera Comprende los fundamentos teóricos de los modos de Transferencia de Calor, los cuales son utilizados para la obtención de los modelos matemáticos para el diseño del equipo

Se presentan las ecuaciones generales que se utilizan para el análisis del sistema que conforma el equipo de laboratorio para su posterior diseño. Además, el contenido es enunciado de manera general, evitando la deducción de los modelos matemáticos Es un modo de Transferencia de Calor que se produce cuando hay un gradiente de temperatura a través de un cuerpo. En este caso, la energía se transfiere de una región de alta temperatura hacia una de baja temperatura debido al movimiento molecular aleatorio - difusión. Las temperaturas más altas se asocian con mayores energías moleculares y cuando colisionan con las moléculas con menos energía se produce la transferencia de energía. (Glimour & David, 2012, pág. 13)

Los objetivos planteados para el desarrollo del proyecto de titulación se han cumplido en su totalidad, se diseñó y construyó un equipo de laboratorio para el estudio de la Transferencia de Calor por convección y radiación combinadas, con resultados satisfactorios avalados por las pruebas realizadas con el equipo. El equipo de convección y radiación construido para el Laboratorio de Transferencia de Calor, permitirá que los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Mecánica comprueben y profundicen los conocimientos en los temas de convección y radiación impartidos en las clases teóricas de la materia de Transferencia de Calor (Glimour & David, 2012).

Israel & Rodrigo(2014) señalan que se ha diseñado, construido y probado un chiller para el laboratorio de Transferencia de Calor, con la finalidad de que el cuerpo docente y especialmente los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica conozcan el funcionamiento práctico de este tipo de equipos, para lo cual se inició con la selección de una unidad condensadora compacta, de un intercambiador de calor de placas de alto tonelaje, una bomba de recirculación con rodete de polipropileno, un tanque reservorio de acero inoxidable con aislamiento térmico de poliuretano de alta densidad compactado y la utilización de salmuera de cloruro de calcio al 20% como anticongelante.

Equipar el laboratorio de Transferencia de Calor de la Escuela de Ingeniería Mecánica, complementar el proyecto propuesto con la teoría para que los estudiantes obtengan conocimientos generales de la aplicación de un chiller y el uso del agua helada mezclada con algún tipo de anticongelante que se generará en el proceso. La manipulación del equipo permitirá a los estudiantes apropiarse del conocimiento básico de la transferencia de calor que se produce dentro de un chiller (Israel & Rodrigo, 2014).

El diseño térmico e hidráulico del chiller se lo realizó considerando los parámetros ambientales de la ciudad de Riobamba obtenidos del Instituto Meteorológico por lo tanto los cálculos que se describen no podrán tener los mismos resultados al cambiar la ubicación geográfica. En la selección de los equipos se priorizó el uso de todos los elementos de la marca “Danfoss”, considerando que es una empresa que normaliza sus productos y garantiza una larga vida útil, además es un proveedor que tiene publicaciones de apoyo para el diseño y construcción de equipos frigoríficos. (Israel & Rodrigo, 2014, pág. 160)

La Unidad de Destilación Combinada (UDC) de la Refinería de Cartagena está diseñada para procesar 80000 BPD de crudo con una gravedad API la cual es fraccionado a través de los procesos de destilación atmosférica y destilación al vacío. En la sección atmosférica se producen las siguientes corrientes: Gases de cima que se envían hacia la producción de gas combustible, nafta virgen que se envía hacia la producción de gasolina, Jet kerosene o combustible de aviación, diésel, gasóleo atmosférico y crudo reducido, este último se envía como carga a la sección de vacío (Diaz & Zuñiga, 2014).

Diaz & Zuñiga(2014) mencionan que de acuerdo a lo establecido anteriormente es importante siempre tener en cuenta la operatividad, mantenimiento e inspección de los equipos industriales, ya que en estos recae gran parte de la responsabilidad del funcionamiento económico y flexible de la planta, por tal razón influyen en un mejor aprovechamiento de la energía térmica del proceso, permiten evitar el paro de la planta en forma frecuente y por periodos de tiempo prolongados. En la unidad de destilación combinada de la refinería de Cartagena se presenta una falla en el intercambiador de calor PS-E-8A utilizado para el enfriamiento de gasóleo producto de las torres de destilación (atmosférica y vacío) debido a que el

equipo no está diseñado para procesar flujos mayores cuando se presentan condiciones de mantenimiento o parada de la unidad de ruptura catalítica (URC),

Además, a partir del marco teórico se determinaron las ecuaciones y el método de diseño apropiado que recibe el nombre método de diseño de exceso de superficie para llevar a cabo el diseño térmico e hidráulico del intercambiador de calor de tubos y coraza, con el fin de presentar una propuesta que brinde unos resultados satisfactorios para la operación en la unidad de destilación combinada de la refinería de Cartagena. Por lo tanto, se comparó los parámetros térmicos e hidráulicos pertinentes del diseño del intercambiador AES, entre el software HTRI y el programa desarrollado en Excel para la selección óptima de diseño (Diaz & Zuñiga, 2014).

2. MARCOS REFERENCIALES

2.1. MARCO HISTÓRICO

Las personas siempre han entendido que algo fluye de los objetos calientes a los fríos. (Blasco, Blasco, Valdes, & Arrebola, 2008) mencionan que a eso se le llama flujo de calor. En el siglo XVIII y comienzos del XIX, los científicos imaginaban que todos los cuerpos contenían un fluido invisible al cual llamaron calórico. Al calórico se le asignó una variedad de propiedades, algunas que probaron ser inconsistentes con la naturaleza. Pero su más importante propiedad era que fluía de cuerpos calientes a fríos. Era una manera útil de pensar acerca del calor

Hoy en día, en la física, a éste flujo de calor, más propiamente transferencia de calor, se le define como el proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura. El calor se puede transferir por convección, radiación o conducción. Aunque estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos predomine sobre los otros dos (Blasco, Blasco, Valdes, & Arrebola, 2008).

La conducción es la transferencia de calor a través de un objeto sólido: es lo que hace que el mango de una varilla se calienta, aunque sólo la punta esté en el fuego. La convección transfiere calor por el intercambio de moléculas frías y calientes: es lo que hace que el agua de una caldera se calienta uniformemente, aunque sólo su parte inferior esté en contacto con la llama. La radiación es la transferencia de calor por radiación electromagnética (generalmente infrarroja): es el principal mecanismo por el que un fuego calienta una habitación (Blasco, Blasco, Valdes, & Arrebola, 2008).

De las tres formas de transferencia de calor, la que más ha gestado discusiones y dicotomías ha sido la teoría de transferencia de calor por radiación electromagnética (Blasco, Blasco, Valdes, & Arrebola, 2008). Indica que a continuación discutimos los diversos aportes que se han hecho en la teoría de la transferencia de calor, desde la ley de enfriamiento de Newton hasta la formulación de Planck para la radiación de un cuerpo negro, teniendo en cuenta las inconsistencias y las conjeturas a las que se han llegado, por el acercamiento desde la física clásica, hasta los primeros indicios de la teoría cuántica.

Newton.

Estudió el fenómeno de la transferencia de calor y demostró que en el enfriamiento de cuerpos que no están demasiado calientes se cumple una ley sencilla. Según ésta ley empírica la razón con que cambia la temperatura de un objeto es proporcional a la diferencia entre su temperatura y la del medio que le rodea, que es la temperatura ambiente. Si la temperatura de un cuerpo es t_1 y la temperatura del ambiente que lo rodea, t_0 , encontró experimentalmente que el calor perdido, Q por el cuerpo en un tiempo t es (Wiley & Sons, 2007).

Ecuación 1

$$Q = (const)(t_1 - t_0)t.$$

Esta es denominada ley de enfriamiento de Newton. Ahora sabemos que es solo aproximadamente cierta, y en el supuesto de que no sea demasiado grande.

Al ser aplicada solo para diferencias de temperatura no muy grandes y contener un sustento experimental y no teórico, Newton demuestra inconsistencias en la formulación de dicha ley. Es importante ver que esta ley

contempla los efectos combinados de la conducción, convección y radiación (Wiley & Sons, 2007).

Ley de enfriamiento de newton

En los sólidos, la única forma de transferencia de calor es la conducción. Si se calienta un extremo de una varilla metálica, de forma que aumente su temperatura, el calor se transmite hasta el extremo más frío por conducción. No se comprende en su totalidad el mecanismo exacto de la conducción de calor en los sólidos, pero se cree que se debe, en parte, al movimiento de los electrones libres que transportan energía cuando existe una diferencia de temperatura (Wiley & Sons, 2007). Indica que esta teoría explica por qué los buenos conductores eléctricos también tienden a ser buenos conductores del calor. En 1822, el matemático francés Joseph Fourier dio una expresión matemática precisa que hoy se conoce como ley de Fourier de la conducción del calor. (Wiley & Sons, 2007, pág. 168)

2.2. MARCO TEÓRICO

Conducción

Es un modo de Transferencia de Calor que se produce cuando hay un gradiente de temperatura a través de un cuerpo. En este caso, la energía se transfiere de una región de alta temperatura hacia una de baja temperatura debido al movimiento molecular aleatorio - difusión. Las temperaturas más altas se asocian con mayores energías moleculares y cuando colisionan con las moléculas con menos energía se produce la transferencia de energía (Glimour & David, 2012).

Glimour & David(2012) indica que los detalles de la Transferencia de Calor por conducción son bastante complicados pero para propósitos de ingeniería pueden ser manejados por la ecuación de Fourier; ésta establece que la rapidez de transferencia de energía por unidad de área es proporcional al gradiente de temperatura.

Ecuación 2

$$\frac{q}{A} \propto \frac{\partial T}{\partial x}$$

Cuando se introduce la constante de proporcionalidad, se obtiene:

Ecuación 3

$$q = -KA \frac{\partial T}{\partial x}$$

Donde:

q = Tasa de Transferencia de Calor (W)

$\partial T / \partial x$ = Gradiente de temperatura en la dirección del flujo de calor (K/m)

k = Conductividad térmica del material (W/m·K)

A = Área normal a la dirección del flujo de calor (m^2)

El signo negativo es necesario en la ecuación 1-1, debido a que el flujo de calor por conducción se da en la dirección de un gradiente de temperatura decreciente.

Conducción radial en estado estable en cilindros huecos

Glimour & David(2012) establece que para condiciones de estado estable, sin generación interna de energía y despreciando la conducción axial y angular, de acuerdo con el sistema mostrado en la figura 1.1, la distribución de temperaturas es:

Ecuación 4

$$T(r) = \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{\ln(r_1/r_2)} \ln\left(\frac{r}{r_2}\right) + T_{s,2}$$

Donde:

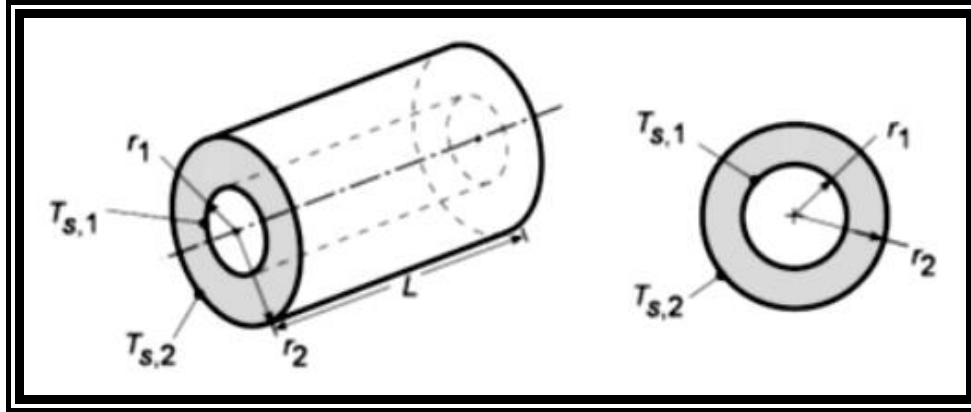
$T_{s,1}$ = Temperatura de la superficie interior del cilindro (°C)

$T_{s,2}$ = Temperatura de la superficie exterior del cilindro (°C)

r_1 = Radio interior del cilindro hueco (m)

r_2 = Radio exterior del cilindro hueco (m)

Figura 1. Esquema de un cilindro hueco.



Fuente: Slimour, Andrade. & David, Masabanda. Diseño y construcción de un equipo para el análisis de transferencia de calor por radiación y convección combinadas para el laboratorio de transferencia de calor. Quito: escuela politécnica Nacional. 2012.p.14

De la ecuación, se puede obtener el gradiente de temperatura dT/dr y reemplazándola en la ley de Fourier, se puede obtener una ecuación para el flujo de calor:

Ecuación 5

$$q_r = \frac{2\pi Lk(T_{s,1} - T_{s,2})}{\ln(r_2/r_1)}$$

O

Ecuación 6

$$q_r = \frac{(T_{s,1} - T_{s,2})}{R_{t,cond}}$$

Por lo que la resistencia térmica de conducción R_k es:

Ecuación 7

$$R_k = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi Lk}$$

Donde:

L= Longitud del cilindro (m)

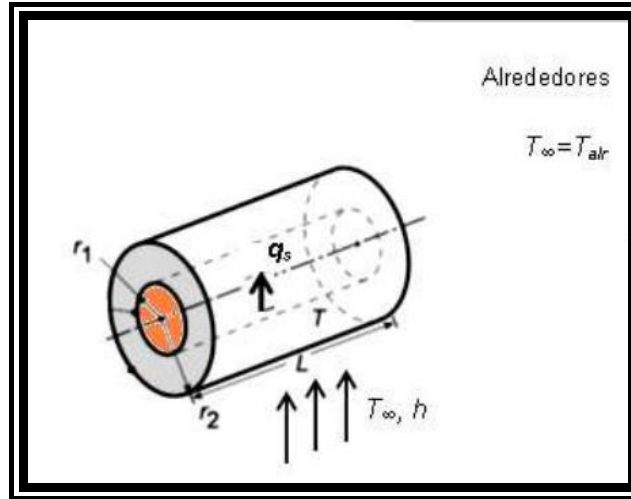
Conducción radial en estado transitorio en cilindros

Se debe realizar un cálculo que permita aproximar el tiempo de estabilización del equipo de laboratorio, por lo que es importante un análisis en estado transitorio del cilindro calentado. Método de la resistencia interna despreciable El método de la resistencia interna despreciable supone que los gradientes de temperatura dentro del sólido son insignificantes, lo que permite una temperatura del sólido espacialmente uniforme durante el proceso transitorio para cualquier tiempo (Glimour & David, 2012).

Análisis mediante el método de la resistencia interna despreciable

Pueden existir diferentes procesos que induzcan condiciones térmicas transitorias dentro del sólido. En el caso de un sistema compuesto por un cilindro hueco y por una resistencia tipo cartucho para el cual se asume que tienen la misma temperatura espacial durante el proceso de calentamiento. A dicho sistema se le suministra calor, el cual se pierde por radiación y convección a través de la superficie exterior del cilindro hueco, como se muestra en la figura (Linarez & Rodriguez, 2015).

Figura 2. Sistema compuesto por cilindro.



Fuente: Linares, Carlos., & Rodríguez, Eduardo. Diseño y construcción de un condensador para el estudio de convección forzada. Venezuela: Universidad Nacional Experimental Politécnica. 2015.p.17.

Aplicando la conservación de la energía en cualquier instante t , se tiene la siguiente ecuación:

Ecuación 8

$$q_s - q_c - q_r = (pVc) \frac{dT}{dt}$$

Donde:

q_s = Flujo de calor suministrado (W)

q_c = Flujo de calor por convección (W)

q_r = Flujo de calor por radiación (W)

P = Densidad (kg/m^3)

V = Volumen (m^3)

C = Calor específico ($\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$)

El subíndice eq indica que las propiedades como la densidad, el volumen y calor específico es equivalente al sistema, es decir, toma en cuenta los materiales que forman tanto la resistencia de cartucho y el cilindro hueco (Linarez & Rodriguez, 2015).

Determinación del coeficiente de transferencia de calor por convección.

El coeficiente de convección depende del tipo de flujo, de las propiedades termofísicas del fluido y de la geometría del sistema. Su valor no es constante debido a que las condiciones de flujo varían de punto en punto sobre la superficie, pero en los cálculos de aplicación de ingeniería se usa un valor del coeficiente de convección promedio. El análisis matemático de la convección es complejo, en la mayoría de problemas de interés práctico se los estudia experimentalmente, obteniéndose resultados a través de ecuaciones empíricas en función de números adimensionales (Sambrano, 2013).

La termodinámica define la transferencia de calor como la forma de energía que se transfiere entre dos sistemas debido a la diferencia de temperaturas, esta a su vez se clasifica en conducción, radiación y convección siendo esta última el punto de apoyo para el desarrollo de este trabajo investigativo (Cengel & Boles, 2015).

Cengel & Boles (2015) indican que la transferencia de calor por conducción se caracteriza por ser uno de los tipos de transferencia de calor se da cuando interviene un fluido (gas o líquido) en movimiento que transporta la energía térmica entre dos zonas y se pueden presentar de manera:

- Libre: cuando el propio fluido extrae calor de la zona caliente y cambia su densidad haciendo que se desplace hacia la zona más fría donde cede su calor.

- Forzada: a través de un ventilador (aire) o bomba (agua) se mueve el fluido a través de una zona caliente y éste transporta el calor hacia la zona fría (Arevalo, 1998).

Tome (2017) establece que la transferencia térmica se basa en las leyes básicas de la termodinámica en la que se prioriza la ley cero de la termodinámica que establece que si dos cuerpos se encuentran en equilibrio térmico con un tercero, están en equilibrio térmico entre sí, y la primera ley que dicta que el cambio en la energía total de un sistema cerrado, ΔE , viene dado por la suma del trabajo realizado sobre o por el sistema y la transferencia neta de calor hacia o desde el sistema, es decir, que $\Delta E = \Delta W + \Delta Q$, por lo tanto la correlación entre estas dos propiedades se convierten en una generalización de la conservación de la energía en los procesos térmicos. Se basa en la conclusión de Joule que dicta que el calor y la energía son equivalentes.

Sears, Zemansky, & Young(1981) referencian que la Ley de Enfriamiento de Newton establece que la temperatura de un cuerpo cambia a una velocidad que es proporcional a la diferencia de las temperaturas entre el medio externo y el cuerpo, permitiendo determinar por variables cuantitativas la transición de la energía de un cuerpo a otro incrementando su velocidad en relación al tiempo y que la tasa de transferencia de calor que abandona una superficie a una temperatura T_s para pasar a un fluido del entorno a temperatura T_f se establece por la ecuación:

Ecuación 9

$$Q_{\text{Convección}} = hA(T_s - T_f)$$

Donde:

Q convección= Tasa de Transferencia de Calor (Watts)

T_s = Temperatura Superficial (°C/°F)

T_f = Temperatura del Fluido (°C/°F)

h_A = Coeficiente de Transferencia de Calor (W/m². °K)

Cengel Y. A (2007) señala que la transferencia de calor por conducción forzada depende de dos condiciones importantes si es de manera externa o interna, ya que de estas dos opciones dependerá grandemente el diseño y el tipo equipo que se desee establecer para el banco de prueba, debido a que la conducción forzada externa aplica a placas o tuberías de diversas geometrías pero con flujo cruzado o superficial en algunos casos para la transferencia de calor y esta condición hace variar las condiciones a determinar en un equipo operativo, mientras que la conducción forzada interna siempre se da para enfriamiento o calentamiento en flujo al interior de una tubería.

Mott (2006) Al resolver estos parámetros es necesario tener en cuenta el tipo de flujo de la corriente de fluido que tendrá paso por el sistema de tubería del banco, utilizando la ecuación del Número de Reynolds para definir la clasificación del fluido en movimiento siendo laminar o turbulento, en tal caso se hace uso de la siguiente ecuación:

Ecuación 10

$$N_R = \frac{V_s \cdot D \cdot \rho}{\mu} = \frac{V_s \cdot D}{\nu}$$

Donde:

N_R = Número de Reynolds

V_s = Velocidad del Fluido

D = Diámetro Tubular

ρ = Densidad de la Sustancia

μ = Viscosidad Dinámica

ν = Viscosidad Cinemática

El número de Nusselt es una magnitud bastante utilizada para la determinación del coeficiente de transferencia de calor por convección, basada en el análisis dimensional, la cual es utilizada para determinar parámetros a través de relaciones de similitud. Los números de Reynolds y de Nusselt para el flujo en estos tubos están basados en el diámetro hidráulico $Dh = \frac{4Ac}{p}$, donde Ac es el

área de la sección transversal del tubo y p es su perímetro. Una vez que se cuenta con el número de Nusselt, el coeficiente de transferencia de calor por convección se determina a partir de $h = \frac{kNu}{Dh}$ (Cengel Y. A., 2007).

El número de Prandtl define el concepto de la teoría de la capa límite clasificando los números de Prandtl de los fluidos que van desde menos de 0.01 para los metales líquidos, hasta más de 100 000 para los aceites pesados debido a que el número de Prandtl es del orden de 10 para el agua.

Los números de Prandtl para los gases son de alrededor de 1, lo cual indica que tanto la cantidad de movimiento como el calor se disipan a través del fluido a más o menos la misma velocidad, esto se debe a que el calor se difunde con mucha rapidez en los metales líquidos y con mucha lentitud en los aceites en relación con la cantidad de movimiento. Como consecuencia, la capa límite térmica es mucho más gruesa para los metales líquidos y mucho más delgada para los aceites, en relación con la capa límite de la velocidad (Cengel Y. A., 2007).

Por lo tanto, se define la determinación del número de Prandtl por medio de la siguiente expresión:

$$Pr = \frac{v}{\alpha} = \frac{\mu \cdot Cp}{k} \quad \text{Ecuación 11}$$

Cengel Y. A (2007) Establece el análisis térmico general se establece en ausencia de cualquier interacción de trabajo (como el calentamiento con resistencia eléctrica), en la cual se aplica la ecuación de la conservación de la energía para el flujo estacionario de un fluido en el interior de un tubo dando como resultado la siguiente ecuación:

$$\dot{Q} = \dot{m}Cp(T_e - T_i) \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde T_i y T_e son las temperaturas medidas en la entrada y salida del tubo respectivamente y \dot{Q} es la razón de transferencia de calor hacia el fluido o de éste. Hay que tener en cuenta que la temperatura de un fluido en movimiento en el interior de un tubo permanece constante en ausencia de cualquier interacción de energía a través de la pared ya que en estas condiciones térmicas en la superficie por lo común podrían ser aproximadas razonablemente quedando establecida la ecuación del flujo de calor de la superficie como:

$$\dot{Q} = hx(T_s - T_m) \quad \text{Ecuación 13}$$

Siendo h_x el coeficiente de transferencia de calor local, T_s y T_m las temperaturas de la superficie y media del fluido en ese lugar. Por lo tanto la temperatura media de un fluido en movimiento al interior de un tubo estará sometido a cambio durante el calentamiento o enfriamiento que se presente, es por eso que $h_x = h = Cte$, la temperatura superficial debe cambiar cuando la tasa de transferencia de calor sea constante es decir $T_s = q_s$, en tal caso el balance general se plantearía de la siguiente manera:

$$\dot{Q} = \dot{q}_s \cdot A_s = \dot{m} \cdot C_p (T_e - T_i) \text{Ecuación 14}$$

Despejando la temperatura media del fluido a la salida la ecuación queda:

$$T_e = T_i + \frac{\dot{q}_s \cdot A_s}{\dot{m} \cdot C_p} \text{Ecuación 15}$$

Donde:

T_e = Temperatura media del fluido

T_i = Temperatura de entrada

C_p = Calor específico

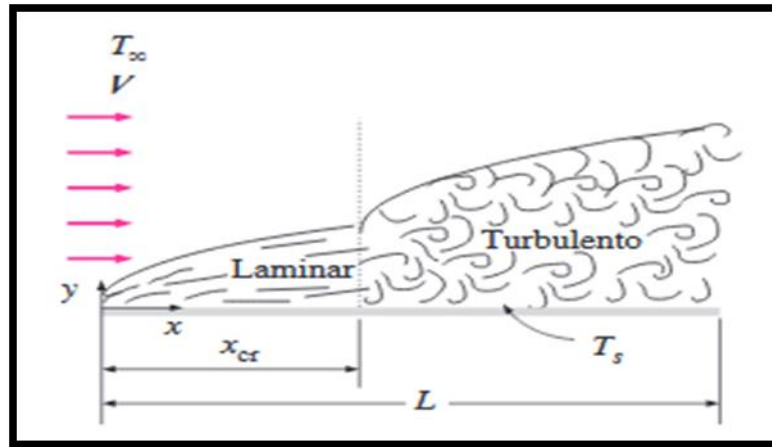
\dot{q}_s = Tasa de transferencia de calor

\dot{m} .= Flujo másico

Para conocer la diferencia de temperaturas desde un punto inicial de temperatura controlada o conocida hasta la temperatura de salida teniendo una razón de transferencia de calor en la superficie constante.

Los métodos para la transferencia por conducción forzada son diversos entre los más comunes podemos encontrar los de flujo paralelo sobre placas planas, estos se dan cuando el flujo en movimiento pasa sobre una placa plana longitudinal en la misma dirección de manera paralela a la posición de la placa, donde la coordenada x se mide a lo largo de la superficie de la placa desde el borde de ataque cuando el flujo se acerca con una velocidad uniforme V y una T^∞ y es cuando el flujo en la capa límite de la placa se inicia como laminar, pero si la placa es lo suficientemente larga, el fluido empezará su periodo de transición donde el número de Reynolds alcanza su valor más crítico llegando al punto de turbulencia del flujo.

Figura 3.Flujo Paralelo Sobre Placas Planas



Fuente: CENGEL, Yunus. Transferencia de Calor y Masa. Reno: McGraw Hill, 2007. p, 399.

El flujo cruzado a través de tubos alineados o escalonados puede presentarse como método de transferencia de calor por convección forzada común mente aplicado en el diseño de diversos tipos de intercambiadores de calor de múltiples arreglos, también condensadores y evaporadores de las plantas generadoras de energía eléctrica, refrigeradores y aires acondicionados son múltiples equipos que utilizan estos arreglos para el funcionamiento de sus equipos ya que los tubos en un banco suelen disponerse alineados o escalonados.

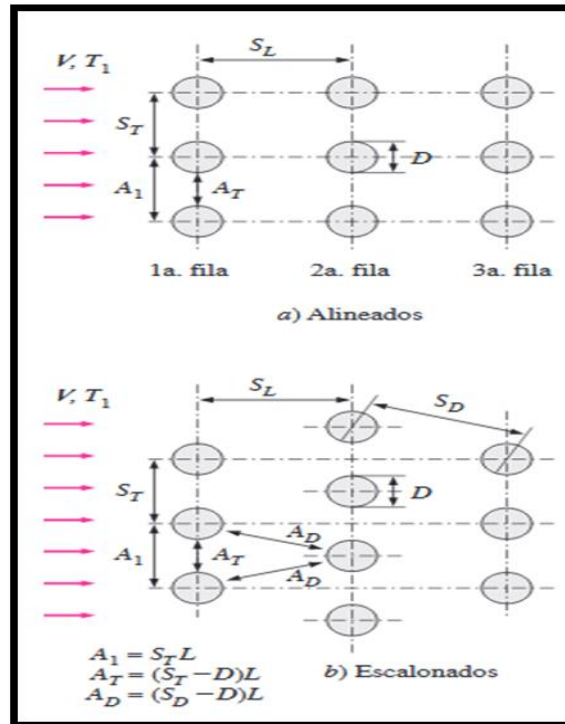
En la dirección del flujo para que el diámetro exterior del tubo D se toma como la longitud característica y la disposición de los tubos se caracteriza por su paso transversal S_T , el paso longitudinal S_L y el paso diagonal S_D entre los centros de los tubos. Conforme el fluido entra en el banco, el área de flujo disminuye de $A_1=S_T L$ hasta $A_T=(S_T-D) L$ entre los tubos y como consecuencia la velocidad de flujo aumenta.

En la disposición escalonada la velocidad puede aumentar todavía más en la región diagonal si se aproximan entre sí las filas de los tubos ya que una

ventaja de los bancos de tubos es que las características de la velocidad de flujo son dominadas por la velocidad máxima V_{max} que se tiene dentro del banco más que por la velocidad aproximada V .

$$V_{max} = \frac{S_T}{S_T - D} V \text{ Ecuación 16}$$

Figura 4. Disposición de tubos alineados y escalonados en un banco de pruebas.



Fuente: CENGEL, Yunus. Transferencia de Calor y Masa. Reno: McGraw Hill, 2007. p, 418.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

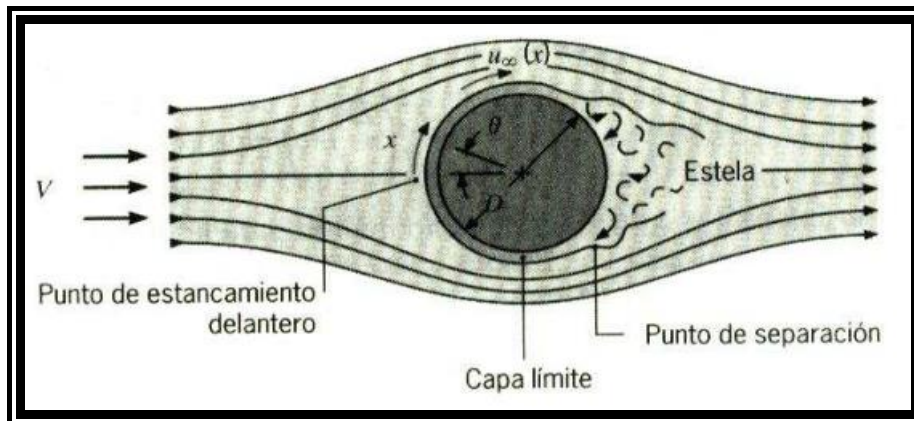
Convección.

Sambrano(2013) muestra que es un modo de Transferencia de Calor entre una superficie sólida y un líquido o gas adyacente en movimiento y comprende la acción de los mecanismos de difusión de energía y movimiento global del fluido (advección). Existen dos tipos de convección: forzada si el flujo es forzado sobre la superficie mediante agentes externos como un ventilador, una bomba o el viento y convección natural si el movimiento del fluido es causado por las fuerzas de empuje que son inducidas por un gradiente de densidad debida a la presencia de un gradiente de temperatura en el fluido.

Convección forzada y flujo cruzado externo en un cilindro horizontal

En un flujo en dirección normal al eje de un cilindro es un fenómeno complejo como lo indica la figura. Se produce una capa límite laminar en la parte frontal del fluido, llegando hasta un punto donde se da la separación de la misma, formándose una estela en la región corriente abajo. El flujo en ésta región se caracteriza por la formación de vórtices y es altamente irregular (Betancurt, 2011). Comunica que, debido a la naturaleza compleja de la separación de flujos, no es posible calcular en forma analítica los coeficientes de Transferencia de Calor en flujo transversal; sin embargo, existen correlaciones de datos experimentales en donde el número de Nusselt es función de los números adimensionales de Reynolds y Prandtl. Hilpert R. establece la siguiente relación:

Figura 5. Formación de la capa límite y separación sobre un cilindro circular en flujo cruzado



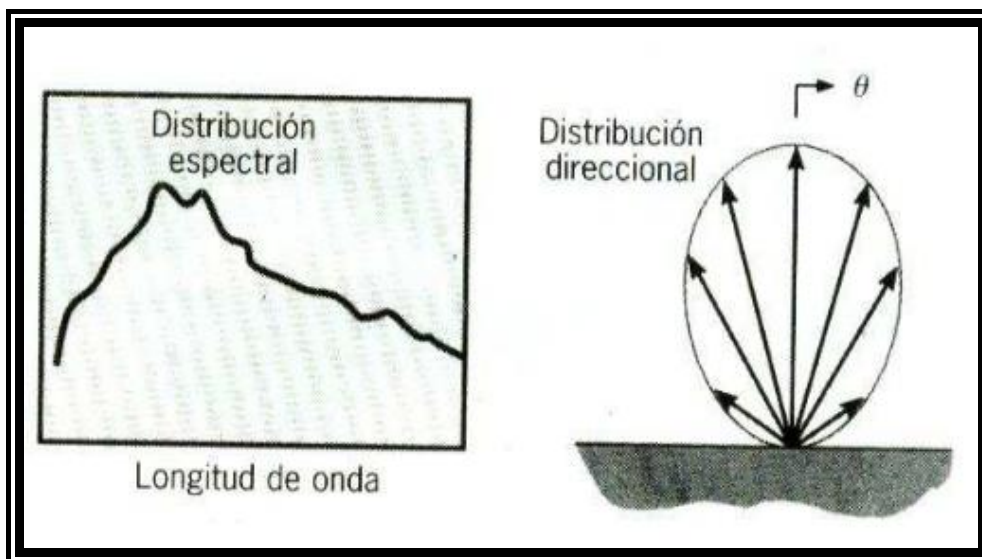
Fuente: Betancurt, Manuel. Determinación experimental y predicción del coeficiente de transferencia de calor alrededor del bulbo de un termómetro de vidrio. Bogotá: Universidad Nacional De Colombia. 2011.p.47.

Radiación.

Es la intensidad con que la materia emite energía como resultado de su temperatura finita. El mecanismo de Transferencia de Calor se da por ondas electromagnéticas, o fotones, los cuales viajan grandes distancias a la velocidad de la luz sin interactuar con un medio (Betancurt, 2011). Señala que la radiación puede predominar sobre la conducción y la convección a altas temperaturas.

La radiación tiene una distribución espectral y direccional porque su magnitud varía con la longitud de onda y no es constante para todas las direcciones posibles como se puede observar en la figura 4.

Figura 6. Emisión de radiación monográfica



Fuente: Betancurt, Manuel. Determinación experimental y predicción del coeficiente de transferencia de calor alrededor del bulbo de un termómetro de vidrio. Bogotá: Universidad Nacional De Colombia. 2011.p.49.

Coeficientes de transferencia de calor y su importancia

Para la ingeniería en general y para la ingeniería química en particular y especial es sumamente importante determinar la razón de transferencia de calor para una determinada diferencia de temperaturas. Ello sucede con frecuencia cuando se diseñan componentes y sistemas en los que sucede este

proceso. Para estimar el costo, la factibilidad y el tamaño de equipos requerido para transferir cierta cantidad de calor en un determinado tiempo hay que realizar un riguroso análisis de transferencia en los cuales el ingeniero debe identificar las resistencias entre los puntos de alta y baja temperatura, muchas de las cuales se encuentra en fase fluida donde la convección juega un papel predominante (Betancurt, 2011).

Las dimensiones de refrigeradores, calentadores, evaporadores, condensadores e intercambiadores de calor no solo dependen de la cantidad de calor sino también de la velocidad a la que se va a transferir esta energía. Para conocer entonces uno de estos flujos requeridos se hace necesario disponer del valor de transferencia de calor por convección. 15 De la misma manera, la operación adecuada de los componentes de un equipo tales como las paredes o las aspas de una turbina depende de la posibilidad de enfriar rápidamente una superficie por evacuación continua del calor en determinado tiempo. (Betancurt, 2011, pág. 53)

La optimización de ciertos procesos exige conocer el valor de las resistencias que obstaculizan uno de los fenómenos de transferencia ya sea de masa, calor o momento, porque si se quiere acelerar o desacelerar cierta transferencia se debe actuar en el diseño sobre la resistencia controlante (Betancurt, 2011).

Betancurt(2011) menciona que en el caso del calor, si esta resistencia se encuentra en fase fluida, dicho valor es el recíproco del coeficiente de transferencia de calor. El parámetro que describe todo el fenómeno de transferencia de calor por convección es el coeficiente de transferencia de película el cual depende de gran cantidad de variables. Se considera un fenómeno bastante complejo debido a la conducción a través de la película de fluido adherida a la superficie del sólido por las fuerzas atractivas y también a la transferencia de masa (advección).

Este fenómeno se puede dificultar en el caso de los gases en los cuales puede ser importante también la transferencia de calor por radiación de manera simultánea a la convección. Así que para su determinación y estudio, es necesario clasificar la convección de acuerdo a las siguientes posibilidades: (Betancurt, 2011).

- Forzada, Natural o Mixta: Si el principal generador de la turbulencia es un agente externo o un gradiente de densidades al interior del fluido, o una combinación de ambos.
- Interna o Externa: El fluido puede circular al interior o alrededor de un ducto.
- Con cambio o sin cambio de fase: Los cambios de fase entre líquido y gas.
- Régimen Laminar, Transición o Turbulento: Se refiere al grado de turbulencia que puede ocurrir y que es cuantificado por el número de Reynolds o el número de Grashof ya sea por convección forzada o natural respectivamente.
- Naturaleza del fluido: Este puede ser un líquido (incompresible) o un gas. De la misma manera se pueden tener casos para ciertos valores de números de Prandtl. Tipo de Superficie: Plana o Curva.

2.4. MARCO LEGAL

Colombia cuenta aproximadamente con 15.000 calderas instaladas para la generación de vapor, cuya energía térmica y de presión puede resultar peligrosa para los trabajadores y en general para las personas o los bienes que se encuentren dentro de su área de influencia. Que la fabricación, instalación y operación de calderas, en condiciones técnicas inadecuadas, constituye uno de los riesgos de mayor impacto sobre la seguridad humana (Constitucion politica de Colombia, , 2016).

La Constitución política de Colombia (2016) indica que el artículo 113 de la Ley 9ª de 1979 establece que “Las calderas, cilindros para gases comprimidos y otros recipientes sometidos a presión, sus accesorios y aditamentos deberán ser diseñados, construidos y operados de acuerdo con las normas y regulaciones técnicas y de seguridad que establezcan las autoridades competentes”.

Que de conformidad con el numeral 4 del artículo 14 del Decreto 381 de 2012 es función del Ministerio de Minas y Energía “formular, adoptar, dirigir y coordinar la política en materia de uso racional de energía y el desarrollo de fuentes alternas de energía y promover, organizar y asegurar el desarrollo de los programas de uso racional y eficiente de energía”. (Constitucion politica de Colombia, , 2016).

Que en ese sentido, es necesario a través de este Reglamento promover el uso racional y eficiente de la energía (URE) en los sectores residencial, industrial y comercial en Colombia, de conformidad con la Ley 697 de 2001 teniendo en cuenta que las calderas son máquinas de transformación de energía donde la eficiencia del proceso es determinante para el consumo de recursos no renovables (Constitucion politica de Colombia, , 2016).

Figura 7. Marco legal.

INTERNACIONAL		
Thershold limit valueTLVs (2014).	Valores límites permisibles publicados por la American Conference of Governmental Industrial hygienists (ACGIH).	
OSHA No 500	Método de muestreo de partículas totales.	
NACIONAL		
Constitución política de Colombia (1991)	Artículo 25	El trabajo es un derecho y una obligación social y goza, en todas sus modalidades, de la especial protección del Estado. Toda persona tiene derecho a un trabajo en condiciones dignas y justas.
	Artículo 79	Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano.
	Artículo 80	El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.
Ley 09 (1979)	Artículo 73	Corresponde al gobierno mantener la atmósfera en condiciones que no causen molestias o daños o interfieran el desarrollo normal de la vida humana, animal o vegetal y de los recursos naturales renovables.
	Artículo 74	Se prohibirá, restringirá o condicionará la descarga, en la atmósfera de polvo, vapores, gases, humos, emanaciones y, en general, de sustancias de cualquier naturaleza que pueda causar enfermedad, daño o molestias a la comunidad o a sus integrantes, cuando sobrepasen los grados o niveles fijados.
Ley 6 (1981)	Artículo 161	La duración máxima de la jornada ordinaria de trabajo es de 8 horas al día y 48 horas a la semana.
Resolución 2400 (1979)	Artículo 64	De la temperatura, humedad y calefacción. Para realizar la evaluación del ambiente térmico se tendrá en cuenta el índice WBGT calculado con temperatura húmeda, temperatura globo y temperatura seca; además se tendrá en cuenta para el caculo del índice WBGT la exposición promedia ocupacional.
	Artículo 79	Todos los lugares de trabajo tendrán la iluminación adecuada e indispensable de acuerdo a la clase de labor que se realice según la modalidad de la industria; a la vez que debe satisfacer las condiciones de seguridad para todo el personal.
Resolución 910 (2008)	Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres; se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones.	
Guía técnica Colombiana GTC 45 (2010)	Guía para la identificación de los riesgos y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional.	

Fuente: Normatividad. Constitución Política de Colombia. Bogotá: Rama Judicial Republica De Colombia 2016. p.2.

(M.T.S.S., 1979) indica en el capítulo III de las tuberías y conductos en el artículo 340 que los conductos "sistemas de tuberías" usados para el transporte de gases, vapores, líquidos, sustancias semilíquidas o plásticas que puedan ofrecer algún peligro, deberán ser instaladas de acuerdo a las recomendaciones dadas para estos casos y en especial las relacionadas con la instalación o vigilancia.

En el artículo 342 los tubos, accesorios, válvulas, etc., usados en los sistemas de tuberías serán de materiales resistentes a la acción química de las sustancias que se transporten y manipulen y adecuados para resistir las presiones y temperaturas a las cuales estarán sometidos (M.T.S.S., 1979).

En el artículo 346. los tubos, válvulas y accesorios de los sistemas de tuberías estarán instalados de tal forma que puedan ser fácilmente hallados. Artículo 347 trata de todo sistema de tuberías se instalará de tal manera que evite el sifonaje accidental del contenido de los recipientes. Las líneas de conducción de los sistemas de tuberías estarán provistas de codos o juntas de expansión para que se efectúe una libre expansión o contracción; firmemente sujetas o ancladas en puntos entre las curvas o juntas de expansión, con el resto de la tubería colocada sobre ménsulas ajustables o soportes debidamente alineados, provistas de aberturas para inspección y drenaje en lugares adecuados, y en los puntos más bajos de cada circuito (M.T.S.S., 1979).

(M.T.S.S., 1979) indica en el artículo 348 que cuando las líneas de tubos conduzcan sustancias calientes y pasen a través de paredes, tabiques pisos u otras partes de los edificios o lugares de trabajo, los tubos estarán provistos de una cubierta aislante cuando transportan vapores, gases o líquidos a una temperatura superior a los 1000. c (2120. f). Para artículo 349, los grifos y las válvulas de vástago fijos en los sistemas de tuberías se equiparán con indicadores que muestren cuando están abiertos o cerrados.

El artículo 350 menciona que las válvulas automáticas de control en los sistemas de tuberías serán del tipo de válvulas instalarán en tal forma en la línea que permitan a mano en el caso de que las válvulas automáticas fallen. El artículo 353. todos los sistemas de tuberías deberán ser examinados periódicamente para corregir defectos en válvulas, conexiones o tubos corroídos, todo esto según (M.T.S.S., 1979).

En el artículo 354 (M.T.S.S., 1979) menciona que las conexiones de las tuberías a los recipientes o unidades de equipo que puedan separarse de las unidades de operación, y a las cuales entren trabajadores para limpiarlas o repararlas, se instalarán con dobles válvulas y sangradores entre ellas, de tal manera que puedan ser desconectadas o seccionadas con bridas ciegas.

3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

3.1. MODELAR UN BANCO DE PRUEBAS MEDIANTE EL SOFTWARE SOLIDWORKS TENIENDO EN CUENTA LAS DIMENSIONES, CONTROL Y FUNCIONAMIENTO TÉRMICO DEL SISTEMA.

Bajo los parámetros investigados en el marco referencial se estudiaron los diseños de varios prototipos de transferencia de calor por convección forzada algunos de placas, de flujo cruzado, tipo carcasa, con tubos concéntricos, pero todos con el mismo componente en común como fluido de trabajo el aire para determinar el diseño que servirá para construir el banco de prueba de transferencia de calor por convección forzada.

Por lo cual se determinó que el equipo utilizará un compresor con el fin de garantizar un paso constante de flujo de aire el cual es distribuido por las líneas de tubería y posteriormente visualizadas en los indicadores de presión y temperatura con el fin de visualizar las variaciones de temperatura y presión

En la tabla 1 se puede evidenciar los parámetros considerados al comparar el uso de flujo de aire y flujo de agua como fluido de trabajo en el banco de pruebas, definiendo las ventajas y desventajas de los fluidos a diferentes condiciones tomando en consideración el tipo de material (PVC y metal) de la tuberías de transporte de flujo a diferentes temperaturas dando como resultado la selección del aire como sustancia de trabajo ya que el prototipo es de sistema simple y pequeño para economizar en costos, teniendo en cuenta que la utilización de agua generaría un banco de grandes dimensiones y mayores equipos para utilizar por lo tanto se determinó usar con flujo de aire.

Tabla 1. Variables Comparativas de Flujos Aire-Agua.

Análisis Comparativo de la Transferencia de Calor por Convección Forzada interna entre Fluidos Aire-Agua				
Variables Comparativas	Aire		Agua	
	Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Transferencia de Calor	Requiere menos mantenimiento, estructuras más simples y pocos equipos. No necesita de almacenamiento o de fluido ni captación de una fuente específica de flujo.	Su capacidad de transferencia de energía y enfriamiento es menor por lo cual requiere mayor tiempo para lograr apreciar parámetros de medición	Poseen mayor capacidad de enfriamiento, es decir, mantienen una elevada tasa de transferencia de energía	Puede presentar problemas de corrosión o incrustaciones por el agua y mayor en gastos de mantenimiento, requiere estructuras más complejas y almacenamiento del líquido.
Costos	Gastos en instalación y mantenimiento es menor debido a la simplicidad del sistema y uso de pocos equipos	Simplicidad del sistema por lo que la instrumentación se ve limitada	Disminución en los costos de flujo de agua	Requiere mayor gasto en instalación, operación y mantenimiento, así como un sistema complejo de equipos e instrumentos
Diseño	Su estructura es pequeña y más simple, no requiere de tanta operación	Permite un estudio más detallado del sistema	Su estructura es más compleja y de mayor tamaño, necesitando diversos equipos e	La instrumentación y accesorios de conexión incrementan

Análisis Comparativo de la Transferencia de Calor por Convección Forzada interna entre Fluidos Aire-Agua				
			instrumentos	
Variables Comparativas	Aire		Agua	
	Ventajas		Desventajas	
Convección (h)	Coeficiente de convección incrementa	El coeficiente de convección es menor y la cuantificación de esta propiedad depende del tiempo de influencia del flujo sobre la superficie y la obtención de los datos es más lenta	El coeficiente de convección es entre 10 y 100 veces mejor, cuantifica la influencia de las propiedades del fluido de la superficie y del flujo	La conducción de la temperatura se ve afectada en un determinado tiempo con relación a la longitud
Ruido	No posee ventaja la presencia de ruido	Son más ruidosos los equipos debido a las turbinas o ventiladores utilizados	La unidad de bombeo y otros dispositivos requeridos para el movimiento del líquido a través de todo el sistema son más silenciosos	Se produce vibración
Propiedades de las Sustancias	Sus propiedades son simples y su captación es inmediata y local.	Los elementos para el control de la sustancia es complicado	Uso de instrumentos permiten un control fácil de la sustancia	Se debe tener en cuenta pH, acidez, alcalinidad, dureza, fuente de obtención, volumen disponible y costo.
Eficiencia	Sistemas pequeños y más simples	Menor eficiencia y menor vida de operación debido a la baja tasa de	Mayor eficiencia debido a la mayor capacidad de transferencia	Sistemas más grandes y de mayor espacio requerido

Análisis Comparativo de la Transferencia de Calor por Convección Forzada interna entre Fluidos Aire-Agua				
		transferencia de energía	térmica y una vida de operación más larga	

Fuente: CENGEL, Yunus. Transferencia de Calor y Masa. Reno: McGraw Hill, 2007. p, 810.

Para poder elegir los equipos adecuados para diseñar el banco de pruebas de transferencia de calor por convección forzada se debe tener en cuenta factores importantes que mejor se adapten al proyecto y a las condiciones requeridas de trabajo según las necesidades del proceso como:

Tabla 2. Condiciones de trabajo

1	Temperatura ambiente, de evaporación y condensación
2	Condiciones especiales (Contaminación, polvo, zona, ambiente, entre otros)
3	Tipo de fluido
4	Flujo de aire
5	Carga térmica a disipar
6	Temperatura de entrada y salida del fluido refrigerado
7	Carga térmica del refrigerante
8	Tipo de tubería

Fuente: Autor

Se puede diferenciar una gran cantidad de criterios para clasificar los equipos de transferencia de calor siendo las más comunes características como:

- La clasificación según la trayectoria del fluido
- La forma en que el calor es transferido o disipado
- Dependiendo de la aplicación del dispositivo o proceso
- Dependiendo del número de fluidos involucrados

Debido a que existe una variedad de diferentes tipos de bancos de prueba para la transferencia de calor por convección forzada se hizo la comparación para poder escoger el que más se adaptara a las necesidades del estudio a desarrollar por tal motivo a continuación se presentaran algunos de los equipos más utilizados para la convección forzada y sus características principales:

Figura 8. Unidad de Transferencia de Calor por Convección Libre y Forzada.



Fuente: DIKOIN. Catálogo de equipo de transferencia de calor por convección libre y forzada. España. 2018. p, 1.

Este equipo funciona haciendo pasar aire de manera vertical con la ayuda de un ventilador ubicado en la parte superior de la torre y en la parte media de la torre se introduce unos disipadores que vienen en forma de aletas, tubos y placa plana conectados a una caja de mandos donde al activar su funcionamiento encienden la resistencia permitiendo que el aire que pasa a través de ellos aumente la temperatura permitiendo de esta forma calcular el coeficiente de transferencia de calor. Este dispositivo es portátil

Figura 9. Horno de Convección Forzada.



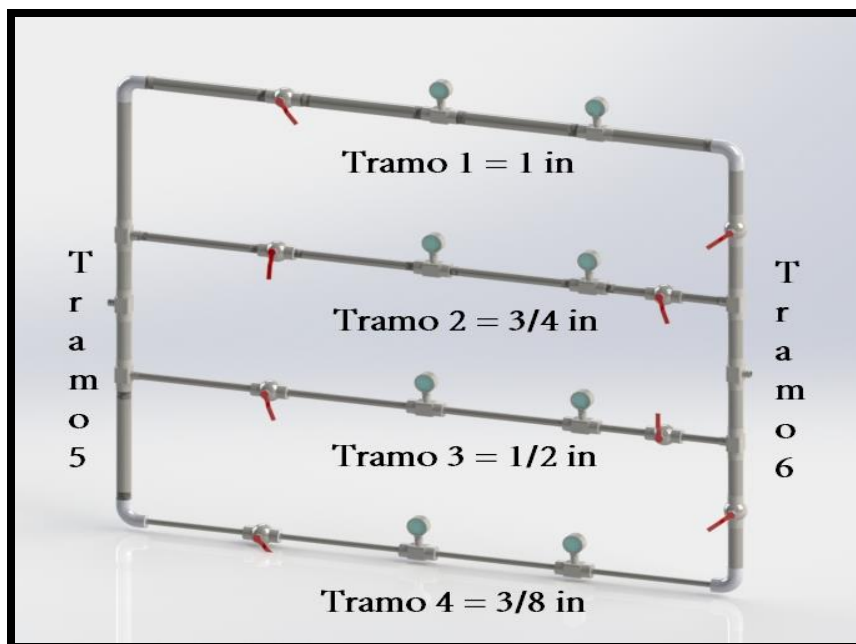
Fuente: BINDER. Catálogo de hornos e incubadoras de convección forzada. Alemania: 2019.

Este equipo es utilizado como horno secador en los laboratorios, también es usado para esterilización de instrumentos y equipo de incubación debido a que su función principal es utilizar la transferencia de calor por convección forzada permitida por sus paredes cubiertas por un material aislante térmicamente, en su interior distribuida por todas las paredes varias resistencias y un ventilador en el fondo del horno para permitir el paso de flujo permitiendo así la transferencia de calor de las resistencias al material que se predisponga en el interior del equipo.

3.1.1. Cálculos para la determinación del Coeficiente de convección forzada interna del banco de pruebas de transferencia de calor.

Determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección forzada interna mediante un banco de pruebas compuesto por tubería de acero de longitud de 1,20 m de ancho por 1 m de alto.

Figura 10. Dimensiones de la tubería



Fuente: Autor

Los diámetros del banco de pruebas varían entre 1 in, $\frac{3}{4}$ in, $\frac{1}{2}$ in y $\frac{3}{8}$ in. Adicionalmente, el sistema se compone por una serie de válvulas que permitan la apertura y cierre de cada línea, permitiendo así controlar el paso de aire en los diferentes puntos del banco. El diámetro de las tuberías laterales es de 1 in.

- **Conversión de in a m**

Para definir los diámetros de cada tubería se tuvieron en cuenta los rangos que tienen mayor facilidad de ser adquiridos comercialmente como lo son 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{8}$ ".

Tabla 3. Conversión de unidades de diámetro

Línea	Unidad (in)	Unidad (m)
Tramo 1	1 in	0.0254 m
Tramo 2	$\frac{3}{4}$ in	0.019 m
Tramo 3	$\frac{1}{2}$ in	0.0127 m
Tramo 4	$\frac{3}{8}$ in	0.00952 m

Fuente: Autor

NOTA: Teniendo en cuenta que las líneas laterales son de 1 in se considera que el tramo 1 tendrá el mismo equivalente que los tramos 5 y 6.

- **Calculo del área**

$$A = \frac{\pi(\theta)^2}{4}$$

$$\text{Área tramo 1} = A = \frac{\pi(\theta)^2}{4}$$

$$\text{Área tramo 1} = \frac{\pi(0.0254)^2}{4} = 5.06 \times 10^{-4} m^2$$

$$\text{Área tramo 2} = A = \frac{\pi(\theta)^2}{4}$$

$$\text{Área tramo 2} = \frac{\pi(0.019m)^2}{4} = 2.83 \times 10^{-4} m^2$$

$$\text{Área tramo 3} = A = \frac{\pi(\theta)^2}{4}$$

$$\text{Área tramo 3} = \frac{\pi(0.0127m)^2}{4} = 1.266 \times 10^{-4} m^2$$

$$\text{Área tramo 4} = A = \frac{\pi(\theta)^2}{4}$$

$$\text{Área tramo 4} = \frac{\pi(0.00952 m)^2}{4} = 7.08 \times 10^{-5} m^2$$

$$\text{Área del tramo 1} = \text{Área del tramo 5} = \text{Área del tramo 6}$$

A partir de la ecuación del caudal, referenciada por (Cengel Y. A., 2007):

$$Q = V \cdot A$$

Debido a que se conoce el caudal y el área del sistema, se procede a calcular la velocidad realizando el despeje de la ecuación mencionada.

$$V = \frac{Q}{A}$$

Entonces la velocidad para cada tramo es la siguiente:

$$Q = 182 \text{ Lpm} = 0.003033 \text{ m}^3/\text{s}$$

A través de las líneas de tubería circula aire, el cual es calentado por una resistencia de 1000 W a 220 Voltios. El flujo de aire es impulsado por un compresor de 1.5 Hp con un caudal de 182 Lpm. El comportamiento de las variables de temperatura y presión pueden ser observadas mediante los indicadores ubicados en cada tramo del equipo.

Tabla 4. Propiedades del Aire

Tabla de Propiedades Termodinámicas del Aire (Tabla A-15) y (Cengel Y. A., 2007)	
Propiedad	Aire a T=30°C
Densidad (ρ)	1.164 kg/m ³
Viscosidad Dinámica (μ)	1.872x10 ⁻⁵ kg/m.s
Conductividad Térmica (k)	0.02588 W/m.°K
Calor Esp. a P=Cte (C_p)	1007 J/kg.°K

Fuente: CENGEL, Yunus. Transferencia de Calor y Masa. Reno: McGraw Hill, 2007. p, 854, 860.

Aire a 60° C y 1 atm de presión

$$\rho = 1.059 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$C_p = 1007 \frac{J}{Kg} \cdot K$$

$$K = 0302808 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\mu = 2.008 \times 10^{-5} \frac{Kg}{m} \cdot s = \text{Viscosidad dinámica}$$

$$\nu = \frac{1.896 \times 10^{-5} m^2}{s} = \text{Viscosidad cinemática}$$

$$Pr = 0.7202$$

$$P = 1 \text{ atm} = 1.01325 \text{ bar} = 14.7 \text{ lb/in}^2$$

Velocidades a 1 bar para tabla de aire

$$1" = 14 \text{ L/s} = 0.014 m^3/s$$

$$3/4" = 6.58 \text{ L/s} = 0.00658 m^3/s$$

$$1/2" = 3.93 \text{ L/s} = 0.00393 m^3/s$$

$$3/8" = 2.4 \text{ L/s} = 0.0024 m^3/s$$

$$Re = \frac{V\theta}{\nu} = \frac{0.014 \frac{m}{s} * 0.0259 m}{1.896 \times 10^{-5} m^2/s} = 18.75$$

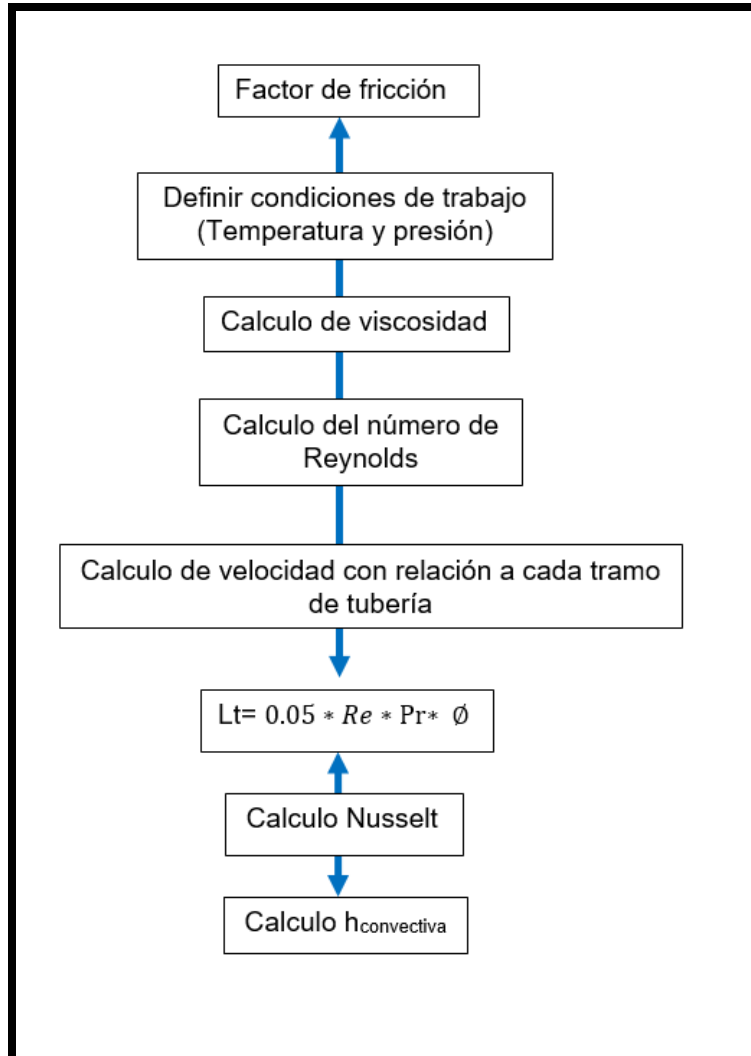
$$Re = \frac{\rho\theta V}{\mu} = \frac{1.059 \frac{Kg}{m^3} * 0.0259 m * 0.014 \frac{m}{s}}{2.008 \times 10^{-5} Kg/m^2s} = 18.75$$

Figura 11. Diámetro interior nominal

Presión		Diámetro interior nominal de la tubería										
bar	kPa	6 mm	8 mm	10 mm	15 mm	20 mm	25 mm	32 mm	40 mm	50 mm	65 mm	80 mm
0,4	40	0,3	0,6	1,4	2,6	4	7	15	25	45	69	120
0,6	60	0,4	0,9	1,9	3,5	5	10	20	30	60	90	160
1,0	100	0,5	1,2	2,8	4,9	7	14	28	45	80	130	230
1,6	160	0,8	1,7	3,8	7,1	11	20	40	60	120	185	330
2,5	250	1,1	2,5	5,5	10,2	15	28	57	85	170	265	470
4,0	400	1,7	3,7	8,3	15,4	23	44	89	135	260	410	725
6,3	630	2,5	5,7	12,6	23,4	35	65	133	200	390	620	1 085
8,0	800	3,1	7,1	15,8	29,3	44	83	168	255	490	780	1 375
10,0	1 000	3,9	8,8	19,5	36,2	54	102	208	315	605	965	1 695
12,5	1 250	4,8	10,9	24,1	44,8	67	127	258	390	755	1 195	2 110
16,0	1 600	6,1	13,8	30,6	56,8	85	160	327	495	955	1 515	2 665
20,0	2 000	7,6	17,1	38	70,6	105	199	406	615	1 185	1 880	3 315

Fuente: Israel, L. G., & Rodrigo, A. L. (2014). Diseño, Construcción y pruebas de un chiller para el laboratorio de transferencia de calor. RioBamba: Escuela Superior Politecnica de Chimborazo

El diagrama de proceso para el cálculo de $h_{conectiva}$ abarca los siguientes items:



Fuente: Autor

Flujo turbulento en tubos

Factor de fricción

$$f = (0.79 \ln Re - 1.64)^{-2} \quad \text{-----} \quad 3000 < Re < 5 \times 10^6$$

Aire a 60° C y 1 atm de presión

$$\rho = 1.059 \frac{kg}{m^3}$$

$$Cp = 1007 \frac{J}{Kg} .K$$

$$K = 0302808 \frac{W}{m.K}$$

$$\mu = 2.008 \times 10^{-5} \frac{Kg}{m} .s = \text{Viscosidad dinamica}$$

$$\nu = \frac{1.896 \times 10^{-5} m^2}{s} = \text{Viscosidad cinematica}$$

$$Pr = 0.7202$$

$$P = 1 atm = 1.01325 bar = 14.7 lb/in^2$$

$$K = 0.02808 \frac{W}{mK}$$

Velocidades a 1 bar para tabla de aire

$$1" = 14 L/s = 0.014 m^3/s$$

$$3/4" = 6.58 L/S = 0.00658 m^3/s$$

$$1/2" = 3.93 L/s = 0.00393 m^3/s$$

$$3/8" = 2.4 L/s = 0.0024 m^3/s$$

$$Q = V.A$$

$$V1 = \frac{Q}{A} = \frac{0.014 \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi(0.0254)^2}{4}} = 27.62 \frac{m}{s}$$

$$V2 = \frac{Q}{A} = \frac{0.00658 \frac{m^2}{s}}{\frac{\pi(0.01905)^2}{4}} = 23.08 \frac{m}{s}$$

$$V3 = \frac{Q}{A} = \frac{0.00393 \frac{m^2}{s}}{\frac{\pi(0.0127)^2}{4}} = 31.02 \frac{m}{s}$$

$$V4 = \frac{Q}{A} = \frac{0.0024 \frac{m^2}{s}}{\frac{\pi(0.00925)^2}{4}} = 37.71 \frac{m}{s}$$

$$Re1 = \frac{V\phi}{\nu} = \frac{27.62 \frac{m}{s} * 0.0254}{1.896 \times 10^{-5}} = 37014.007$$

$$Re2 = \frac{V\phi}{\nu} = \frac{23.08 \frac{m}{s} * 0.01905}{1.896 \times 10^{-5}} = 23189.55$$

$$Re3 = \frac{V\phi}{\nu} = \frac{31.02 \frac{m}{s} * 0.0127}{1.896 \times 10^{-5}} = 20778.16$$

$$Re4 = \frac{V\phi}{\nu} = \frac{35.71 \frac{m}{s} * 0.00925}{1.896 \times 10^{-5}} = 17421.8$$

$L_t = 0.05 * Re * Pr * \phi$ Flujo laminar

$$L_t = 0.05 * 37014.007 * 0.7202 * 0.0254 m$$

$$L_1 = 33.85 m$$

$$L_2 = 15.9 m$$

$$L_3 = 9.5 m$$

$$L_4 = 5.8 m$$

La entrada es la distancia del tubo hasta aquella sección transversal donde el esfuerzo cortante en la pared (y por consiguiente el factor de fricción) se aproxima al valor del flujo completamente desarrollado dentro de 2% de diferencia.

Para flujo turbulento $La = 1,359 DRe^{1/4}$

$$L_{entrada} = 1,359 DRe^{1/4}$$

$$= 1,359 (0.0254) * (370,4)^{0,25} = 0,47 \text{ m}$$

$$L_{entrada 2} = 1,359 (0.01905) * (231894)^{0,25} = 0,31 \text{ m}$$

$$L_{entrada 3} = 1,359 (0.0127) * (20778)^{0,25} = 0,207 \text{ m}$$

$$L_{entrada 4} = 1,359 (0.00925) * (17421)^{0,25} = 0,14 \text{ m}$$

Nusselt

$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) Re Pr}{1.07 + 12.7\left(\frac{f}{8}\right)^{0.5} (Pr^{2/3} - 1)}$$

$$0.5 \leq Pr \leq 2000$$

$$10^4 < Re < 5 \times 10^6$$

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.9} \text{ Calentamiento}$$

Entonces,

$$Nu_1 = 0.023 (37014.007)^{0.8} * (0.7202)^{0.9} = 91.07$$

$$Nu2 = 0.023 (23189.55)^{0.8} * (0.7202)^{0.4} = 62.65$$

$$Nu3 = 0.023 (20778.16)^{0.8} * (0.7202)^{0.4} = 57.38$$

$$Nu4 = 0.023 (17421.8)^{0.8} * (0.7202)^{0.4} = 49.84$$

$$h = \frac{KNu}{\emptyset} = \frac{0.02808 \frac{W}{m.K} * 91.07}{0.0254 m}$$

$$h1 = 100,67 \frac{W}{K}$$

$$h2 = 92.34 \frac{W}{K}$$

$$h3 = 126.86 \frac{W}{K}$$

$$h4 = 151.29 \frac{W}{K}$$

La Tabla 5 permite observar el resumen de cada etapa del cálculo, área, velocidad, L, Nu, h, en cada tramo de tubería.

Tabla 5. Resumen de datos

Área	$\hat{A}1 = 5.06 \times 10^{-4} m^2$ $\hat{A}2 = 2.83 \times 10^{-4} m^2$	$\hat{A}3 = 1.266 \times 10^{-4} m^2$ $\hat{A}4 = 7.08 \times 10^{-5} m^2$
Velocidad	$V1 = 27.62 \frac{m}{s}$ $V2 = 23.08 \frac{m}{s}$	$V3 = 31.02 \frac{m}{s}$ $V4 = 37.71 \frac{m}{s}$
Reynolds	$Re1 = 37014.007$ $Re2 = 23189.55$	$Re3 = 20778.16$ $Re4 = 17421.8$

Longitud	$L1 = 0.47\ m$ $L2 = 0.31\ m$	$L3 = 0.20\ m$ $L4 = 0.14\ m$
Nusselt	$Nu1 = 91.07$ $Nu2 = 62.65$	$Nu3 = 57.38$ $Nu4 = 49.84$
$h_{conectiva}$	$h1 = 100.67\ \frac{W}{K}$ $h2 = 92.34\ \frac{W}{K}$	$h3 = 126.86\ \frac{W}{K}$ $h4 = 151.29\ \frac{W}{K}$

Fuente: Autor

3.1.2. Diseño del banco de pruebas de convección forzada

El equipo experimental desarrollado en este trabajo está conformado por las siguientes partes accesorios, tubería y estructura (Ver Tabla 6) las cuales fueron modeladas y dimensionadas a través del software Solidworks. De igual forma, a partir del anexo 1 se logra evidenciar la ficha técnica de cada equipo que conforma el banco de pruebas.

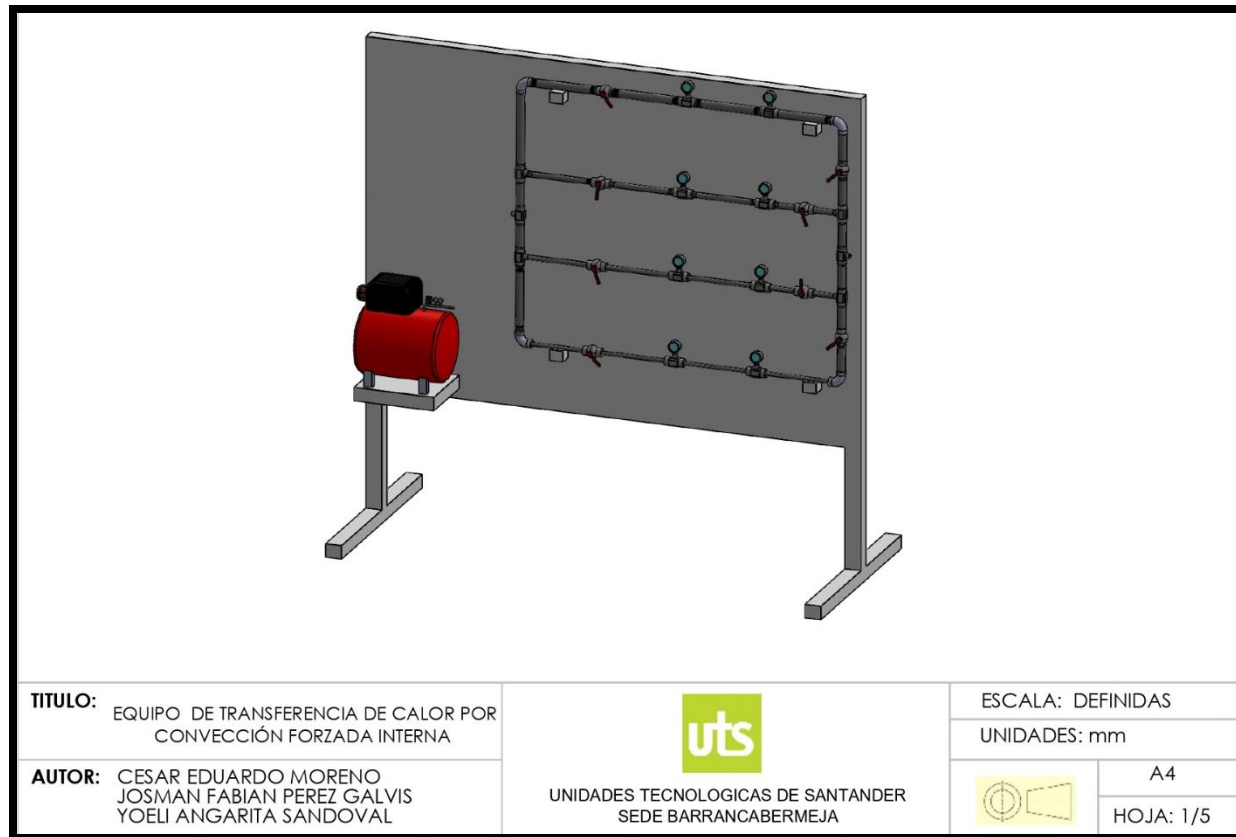
Tabla 6. Especificación de materiales y cantidad

Equipo	Característica	Cantidad
Compresor	Marca MPC – 1.5 Hp / 182 lpm	1
Indicador temperatura	Marca Dewit – 0/150°C	4
Indicador presión	Marca Winters – 0/100 Psi	4
Resistencia	Marca BSD 483 A – 100 W	1
Conectores Tee	Marca MolighDoll	13
Tubería de 1 in	Acero galvanizado	1
Tubería de ½ in		1
Tubería de 3/8 in		1
Tubería de ¾ in		1
Válvula de Bola	Marca ITAP	7
Codos de 90° de 1 in		2
Codos de 90° de 3/8 in		2
Rodachines	Capacidad promedio de 120 Kg	4
Caja para resistencia	Caja metálica tubería salida 1"	1

Fuente: Autor

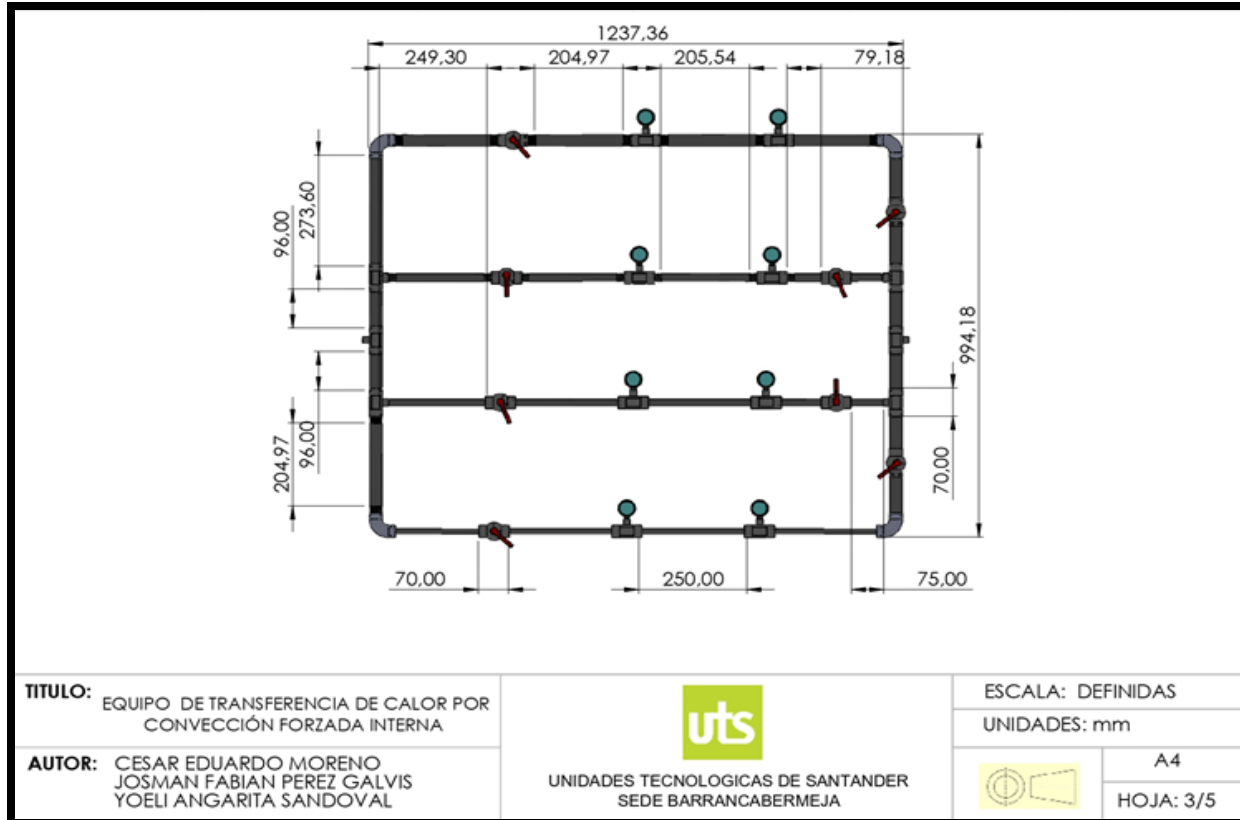
3.1.3. Planos de la estructura y tubería

Figura 12.Ubicación de accesorios



Fuente: Autor

Figura 13. Dimensión de las líneas de tubería



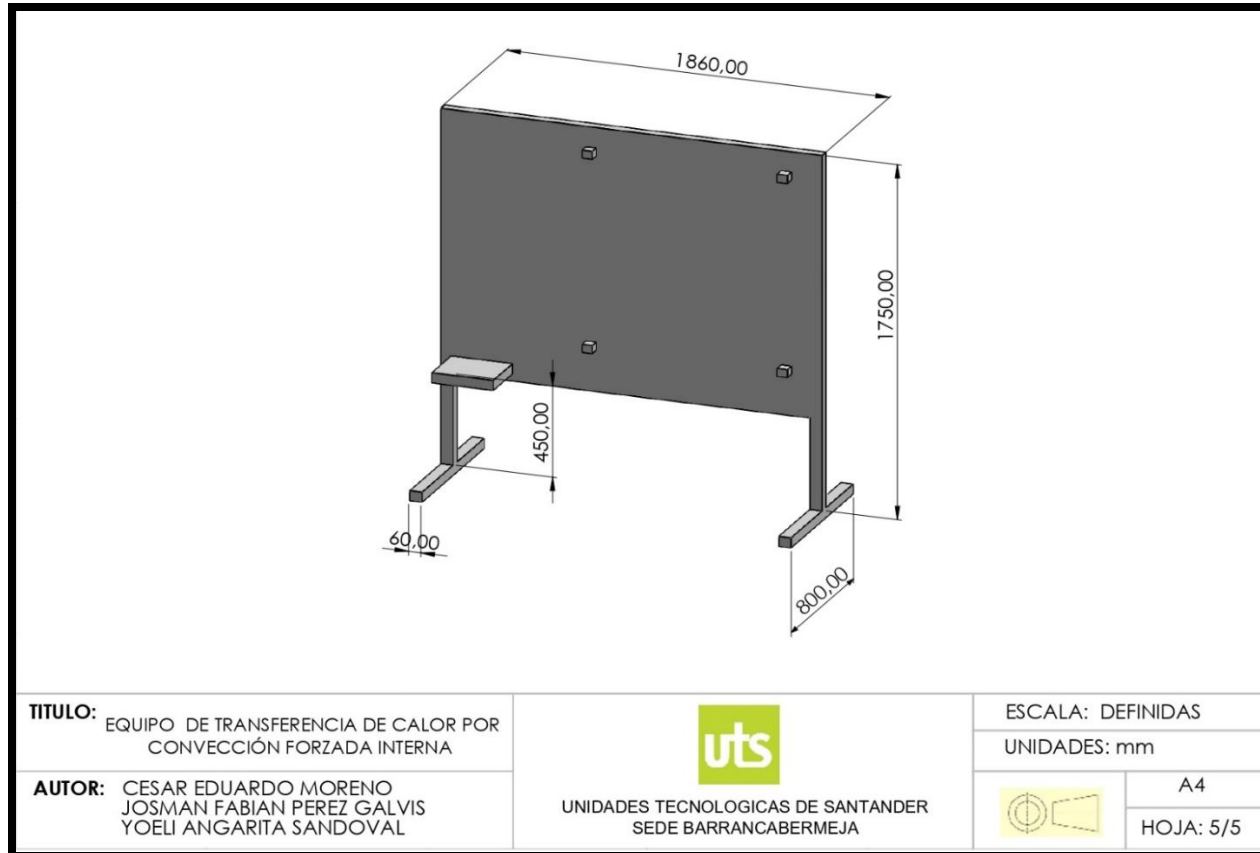
Fuente: Autor

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

Figura 14. Dimensión de la estructura

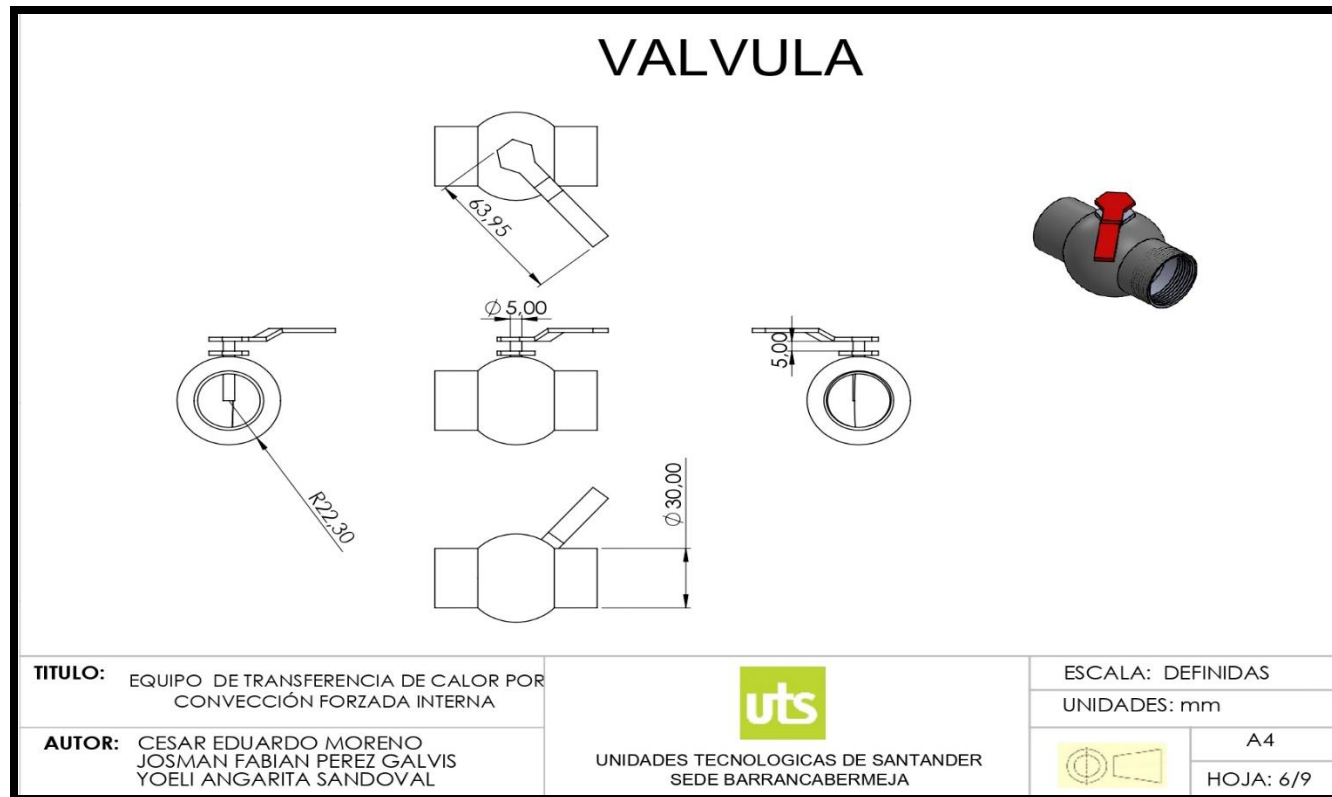


Fuente: Autor

3.1.4.

Planos de accesorios

Figura 15. Dimensiones de válvula (7 unidades)



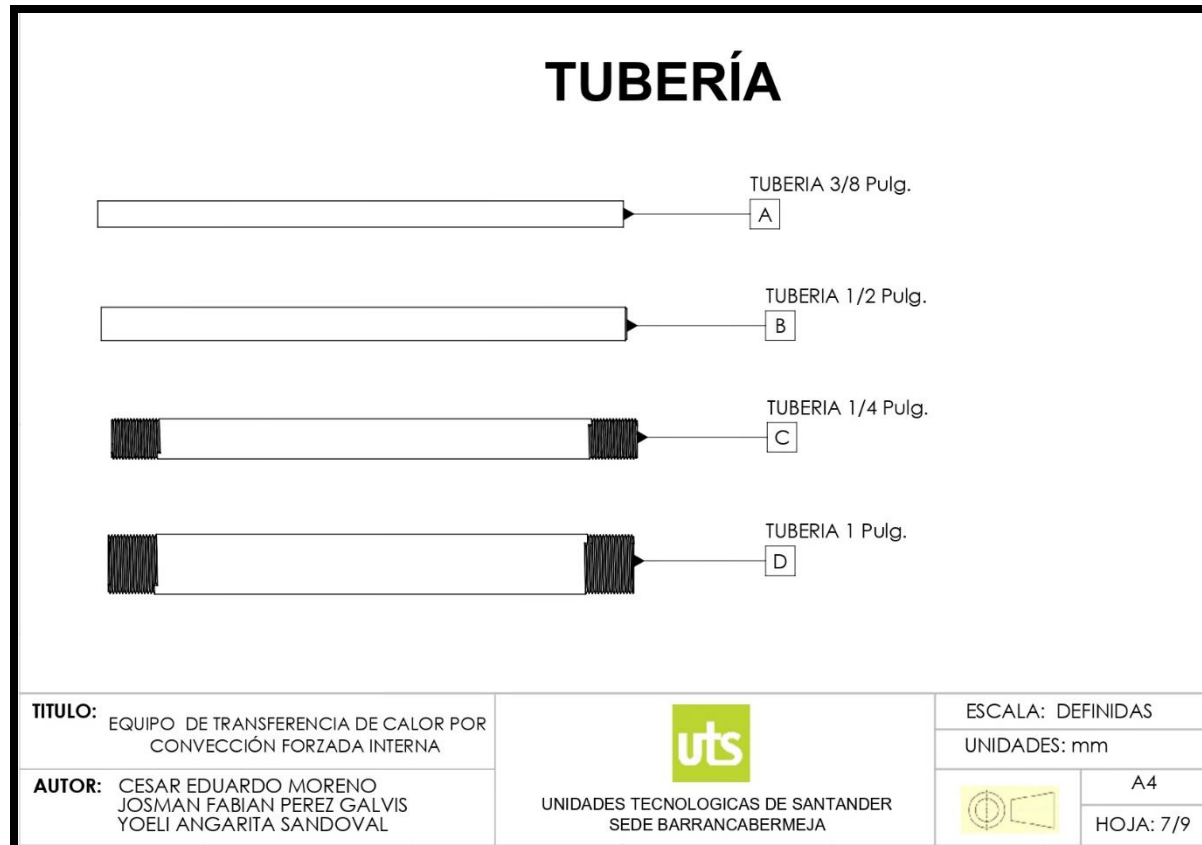
Fuente: Autor

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

Figura 16. Dimensiones de las líneas de tubería



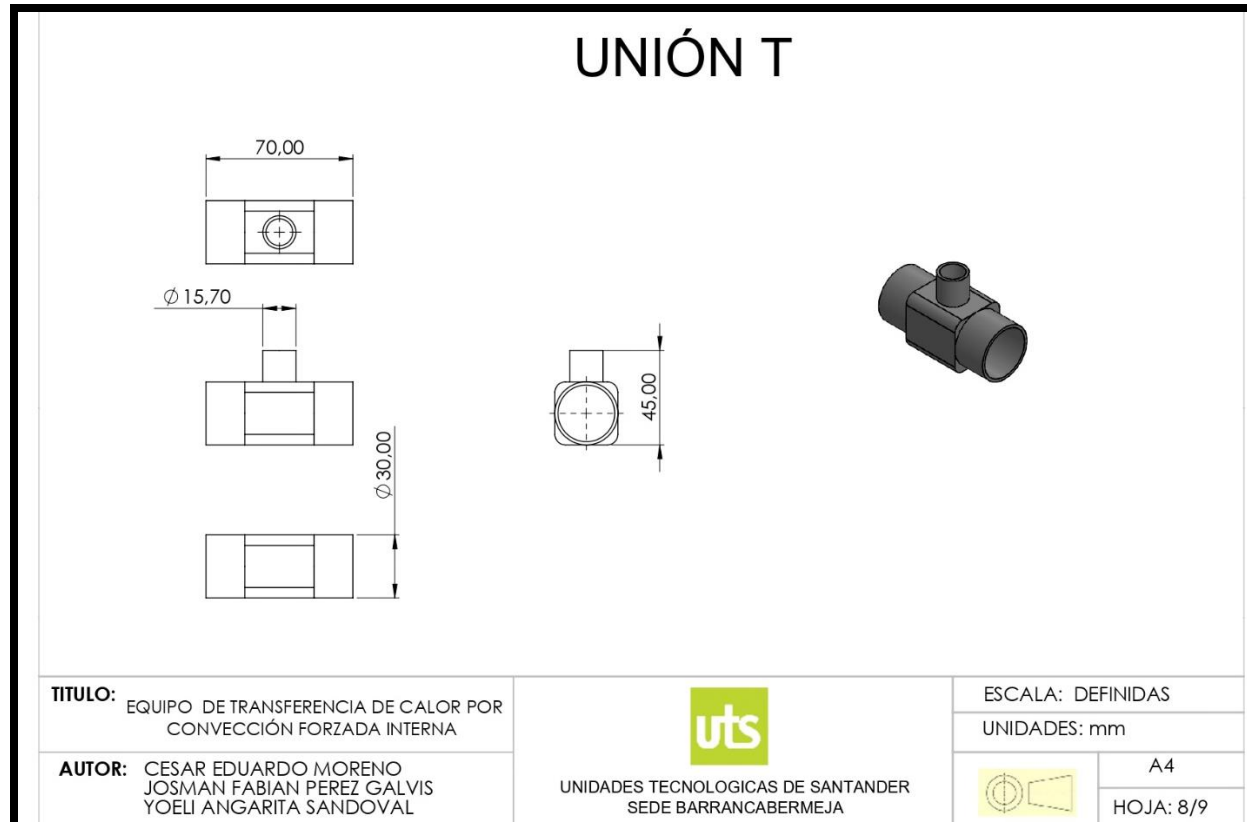
Fuente: Autor

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

Figura 17. Dimensiones UNION T (13 unidades)



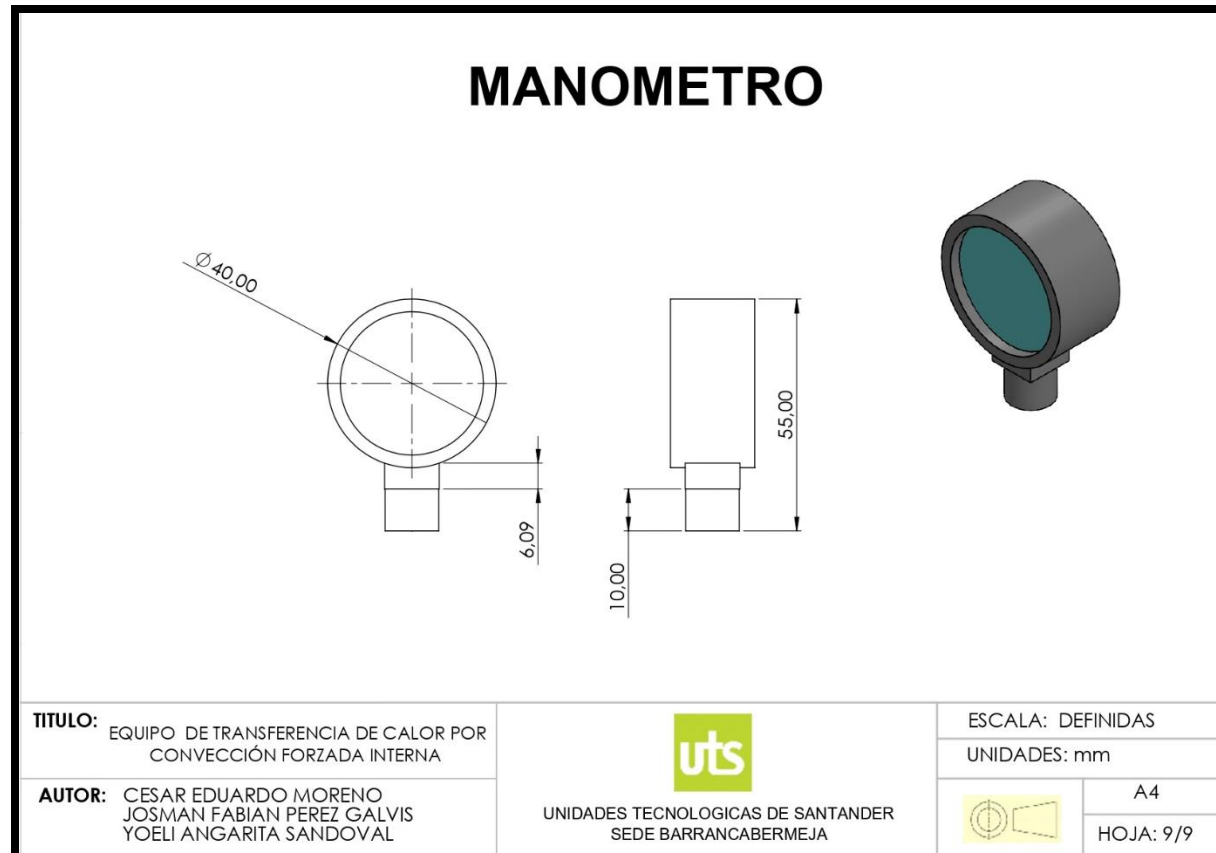
Fuente: Autor

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

Figura 18. Dimensiones de indicador de presión (4 unidades) y temperatura (4 unidades)



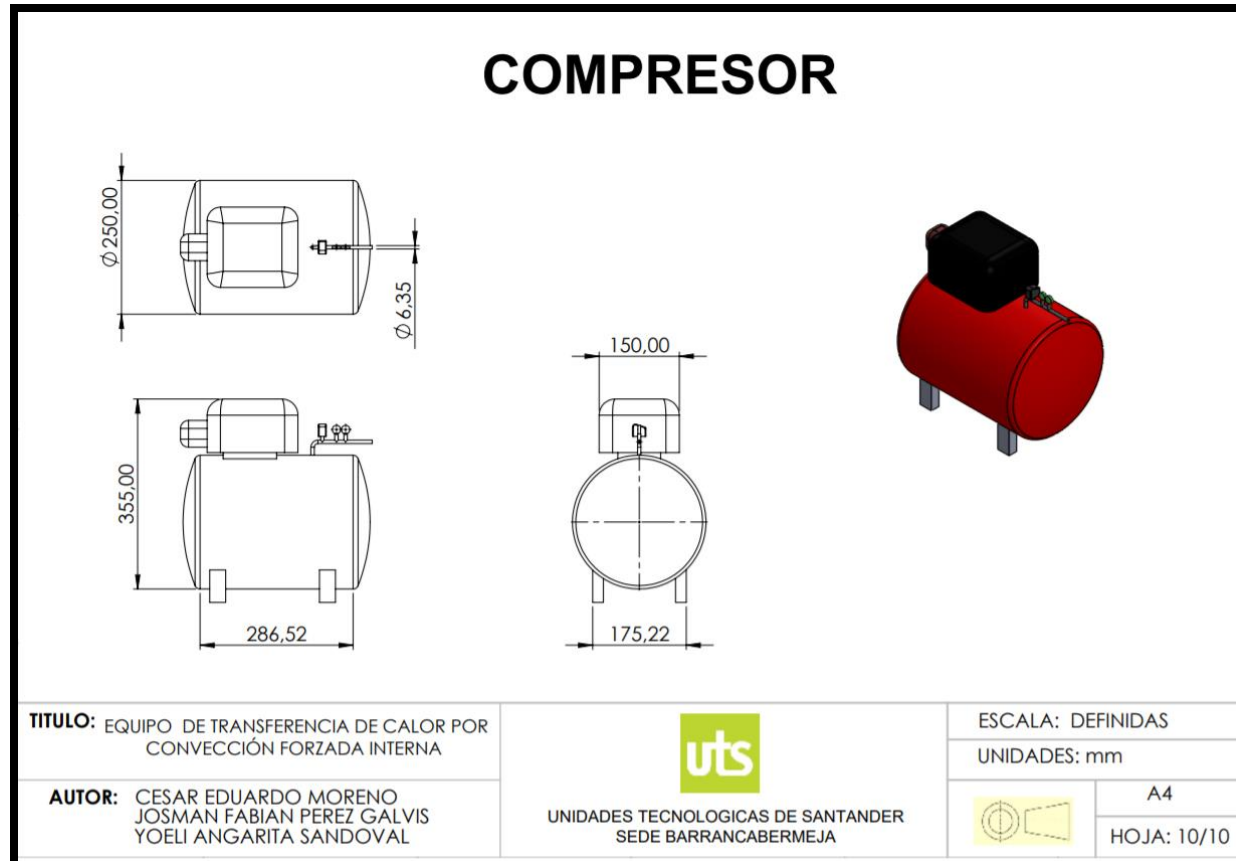
Fuente: Autor

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

Figura 19. Dimensiones de compresor(1 unidad)



Fuente: Autor

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

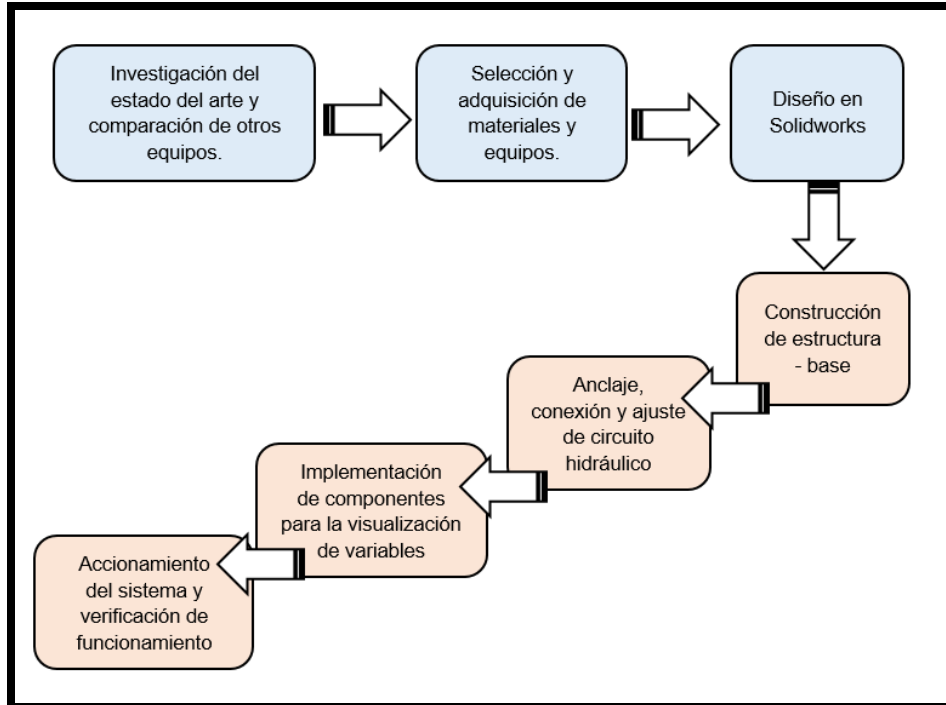
APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

3.2. REALIZAR LA CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS, Y PUESTA EN MARCHA DEL EQUIPO EVALUANDO DE MANERA DIDÁCTICA EL VALOR DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN FORZADA INTERNA.

- **Análisis para la construcción del banco de transferencia de calor**

Debido a que son pocos los dispositivos disponibles como bancos de prueba para la convección forzada y su accesibilidad por los altos costos de adquisición de un equipo de transferencia de calor, se desarrolla este estudio para llevar a cabo la comparativa entre estos dispositivos comerciales y la funcionalidad de ellos para analizar sus aspectos operacionales dando paso a la etapa conceptual en función de establecer el diseño, detalles, cálculo y posteriormente la construcción de un banco de pruebas funcional para la transferencia de calor por convección forzada interna, recopilando la información obtenida de los tipos de bancos existentes se procede a desarrollar un modelo combinando factores como la utilización de dos tipos de flujo siendo agua y aire, esta última escogida como sustancia refrigerante en el cual se dispondrán de varios dispositivos para controlar y medir la velocidad de flujo, la corriente de fluido la temperatura y las caídas de presiones en el recorrido del sistema.

Figura 20. Proceso de construcción



Fuente: Autor

La Figura 20, permite observar el procedimiento empleado para la construcción del banco de transferencia de calor por convección forzada. Las actividades desarrolladas están basadas inicialmente en la investigación de otras tesis de grado que permitan observar los procedimientos, cálculos, diseño y construcción de equipos orientados al estudio de la convección forzada interna.

A partir de ello se logra conocer los parámetros de operación requeridos, dando paso a la idea de cómo va ser construido el banco de pruebas para las Unidades Tecnológicas de Santander, lo que permite la selección de los componentes, tipo de materiales, diámetros, longitud y demás equipos.

Una vez realizado el diseño del banco final, se considera el modelo geométrico elaborado, y las dimensiones plasmadas en él para el proceso de construcción del banco lo que incluye lo siguiente:

Paso 1. Con el fin de crear una base para el acople del circuito hidráulico, se llevó a cabo la elaboración de una estructura con dimensiones de 1,80 m de alto por 1,30 m de ancho, compuesta por tubería rectangular 2x1, un triple de 9mm utilizado como tablero y asegurado con tornillería de avancerápido color negro de una pulgada de largo por 1/8 de grosor.

La estructura (Ver Figura 21) fue soldadura con varillas de 6013 de 3/32 para el proceso de fijación de las piezas. También, el acople de cuatro (4) rodachines permite el desplazamiento del equipo con facilidad.

Figura 21. Estructura



Fuente: Autor

Paso 2. A partir de las dimensiones del circuito de tuberías y selección de los accesorios se procede a la ubicación de los mismos como se evidencia en la Figura 22. Cada línea se compone de una válvula y dos indicadores uno de presión y el otro de temperatura. Las válvulas son ubicadas de forma estratégica para su apertura y cierre con el fin de poder trabajar líneas individuales y grupales según la necesidad del operador.

Figura 22. Ubicación de accesorios



Fuente: Autor

De acuerdo al diseño escogido para el banco de prueba de convección forzada de tipo interno se estableció el uso de los siguientes equipos evidenciados en la Tabla 5, los cuales se caracterizan por: compresor con una potencia de 1.5 HP de 3450 rpm con un flujo de aire de 182lpm, tubería de 1in, $\frac{3}{4}$ in, $\frac{1}{2}$ in y $\frac{3}{8}$ in de acero galvanizado, válvulas de corte, acoples, resistencia de 1000 W, entre otros. Este sistema constara con indicadores de temperatura para el aire, así como manómetros de presión dinámica.

Tabla 7. Materiales y Equipos

Equipo	Cantidad	Figura
Compresor	1	
Indicador temperatura	4	
Indicador presión	4	
Resistencia	1	
Conectores Tee	13	
Tubería de 1 in	1	
Tubería de 1/2 in	1	
Tubería de 3/8 in	1	
Tubería de 3/4 in	1	
Válvula de Bola	7	
Codos de 90° de 1 in	2	
Codos de 90° de 3/8 in	2	
Rodachines	4	
Caja para resistencia	1	

Fuente: Autor

La Tabla 5 refleja la cantidad y descripción gráfica de los equipos requeridos en la construcción del banco. Por otra parte, el uso de herramientas básicas como equipo para soldar, llave para tubos, cinta, teflón, tornillería, pinzas, niples, mangueras, cable eléctrico, interruptor, caja para instalación interna de resistencia, grapas en U para fijar la tubería en el tablero, entre otros, fueron elementos sustanciales en el desarrollo de las actividades.

Figura 23. Ensamble de accesorios y tubería



Fuente: Autor

La Figura 23 permite observar en el lado izquierdo a los autores del proyecto realizando el acople de los codos de 1". El proceso comprendió el uso de herramientas básicas como llaves de 1", 3/4", 1/2" y 3/8", hombre solo y llave para tubo. Una vez distribuidos los accesorios se procede al ajuste de la te, válvulas, de acuerdo al diámetro de cada tubería. Para sellar las uniones se utiliza teflón cinta. La finalización de la actividad culmina con la imagen evidenciada al lado derecho donde se muestra el ensamble final de las líneas de tubería.

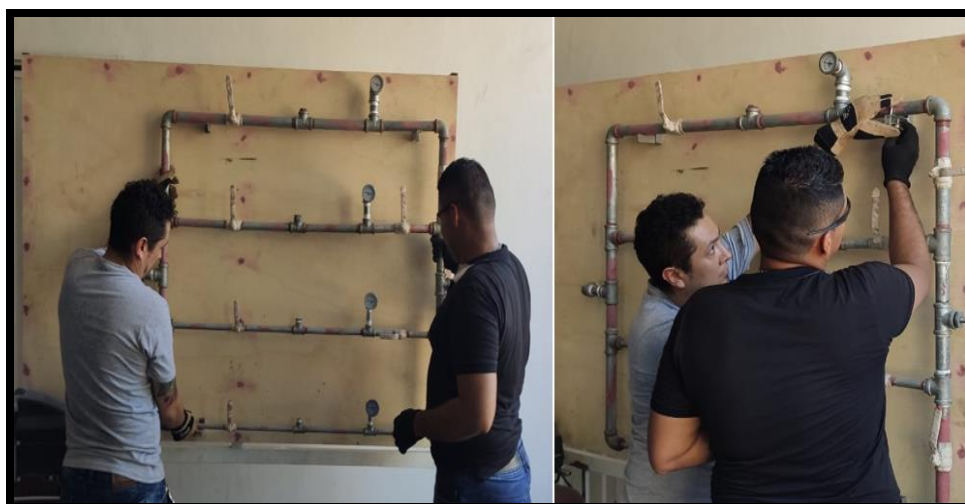
Figura 24. Instalación de soportes



Fuente: Autor

Para la instalación de las líneas de tubería se utilizan dos soportes de 90° cada uno.

Figura 25. Anclaje de líneas de tubería



Fuente: Autor

Una vez instalados los soportes, se realiza el montaje y posterior ajuste con dos abrazaderas tipo U en acero inoxidable, dos de 1" para la parte superior y dos de 3/4" para la parte inferior.

Figura 26. Instalación de indicadores de presión y temperatura



Fuente: Autor

Para la Figura 26, se observa la instalación de cuatro indicadores. Los accesorios son distribuidos con el propósito de conocer la presión que recorre el tramo del circuito de tuberías a diferentes diámetros. Por otra parte, el acople de cuatro indicadores de temperatura abarca una extensión en acero con el fin de perforar e instalar un sensor que permita procesar la señal de temperatura requerida para el software evidenciado en la pantalla.

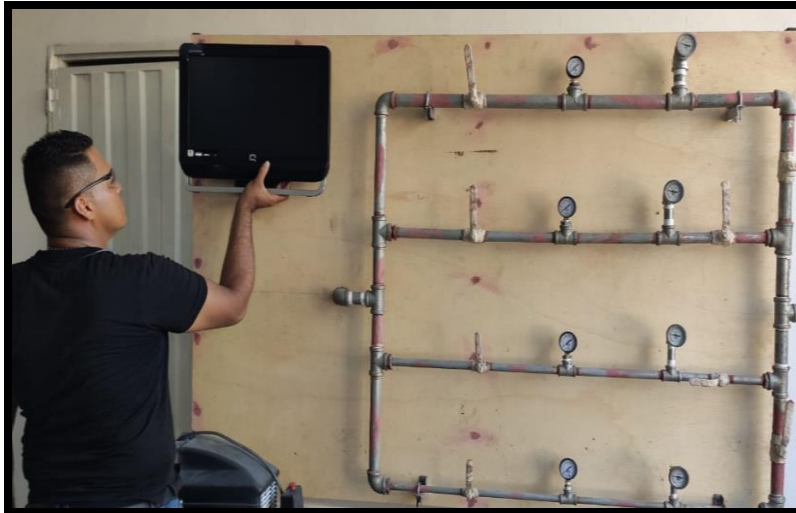
Figura 27. Instalación de compresor



Fuente: Autor

Para la instalación del compresor (Ver Figura 27) se realizó la adición de una estructura que actúa como soporte. La sujeción del equipo se realiza a las esquinas de la base del compresor a través de pernos de unión.

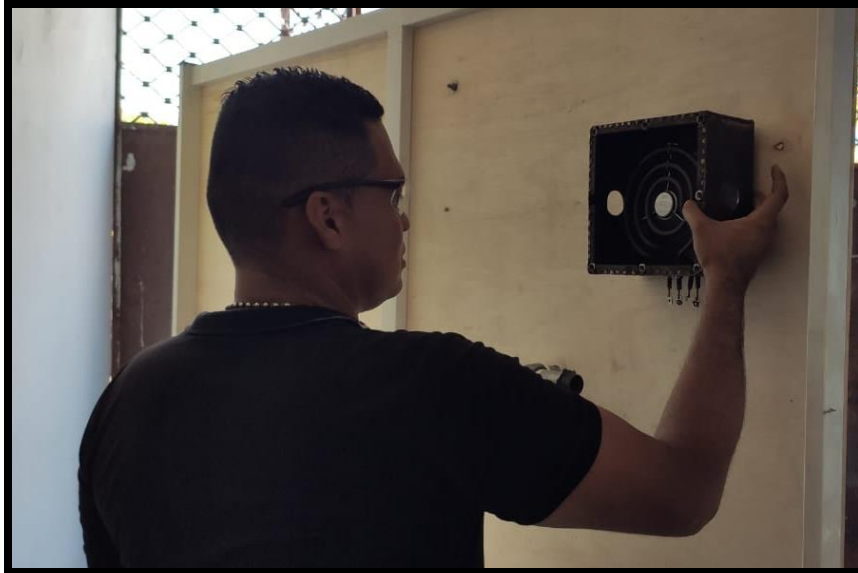
Figura 28. Instalación de computador



Fuente: Autor

La Figura 28, evidencia la ubicación de la pantalla, instalada con un mouse y teclado para facilitar el proceso de control del software. El sistema de visualización permitirá al operador del equipo observar las variables que actúan en el tramo de cada línea de tubería a través de una interfaz gráfica realizada en Labview para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección forzada interna.

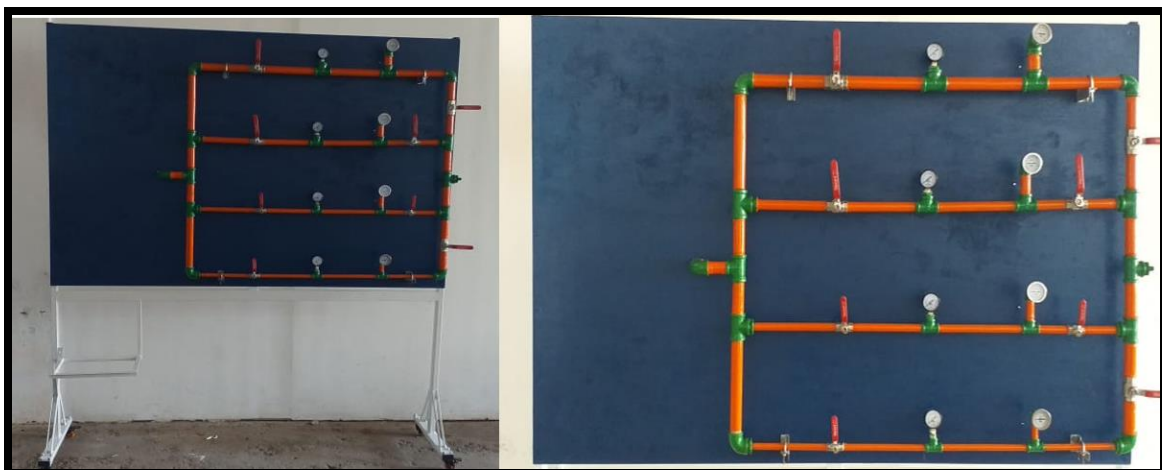
Figura 29. Instalación de resistencia



Fuente: Autor

La resistencia es adaptada en una caja metálica e instalada en la parte trasera del banco de pruebas. Dicho elemento es el encargado de calentar el flujo de aire a la salida del compresor y enviarlo a las líneas mediante tubería de 1”.

Figura 30. Aplicación de pintura



Fuente: Autor

La Figura 30 permite observar la aplicación de pintura al tablero, estructura del banco de pruebas, línea de tuberías y accesorio.

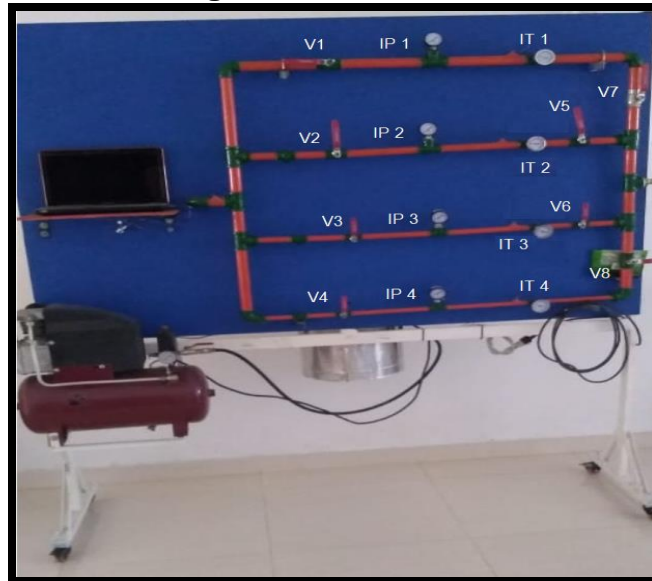
Figura 31.Drum



Fuente: Autor

Se utilizó un drum (Ver figura 31) recubierto con aislamiento, con el propósito de almacenar un volumen de aire de 120 lpm, el cual es calentado a una temperatura que varía a razón del tiempo. El equipo cuenta con un manómetro indicador de presión y temperatura con el propósito de conocer el rango de la cámara al ser puesto en marcha.

Figura 32. Banco final



Fuente: Autor

3.3. IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE CONTROL EL CUAL PERMITA LA REGULACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LAS VARIABLES DERIVADAS DEL PROCESO DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN FORZADA INTERNA.

Labview.

El lenguaje de programación utilizado en el proyecto es el software Labview el cual se considera como una herramienta gráfica que permite el control y diseño mediante una programación en lenguaje G (lenguaje C gráfico). Los programas desarrollados con LabVIEW se llaman Instrumentos Virtuales, o VIS, y se encargan del control de instrumentos.

Cumple tareas tales como: Adquisición de datos, Control de instrumentos, Automatización industrial o PAC (Controlador de Automatización Programable), Diseño de control, Diseño Embebido y Domótica.

Entre sus principales características presenta facilidades para el manejo de:

- Interfaces de comunicaciones.

- Capacidad de interactuar con otros lenguajes y aplicaciones.
- Herramientas gráficas y textuales para el procesado digital de señales.
- Visualización y manejo de gráficas con datos dinámicos.
- Adquisición y tratamiento de imágenes.
- Control de movimiento (combinado incluso con todo lo anterior).
- Tiempo Real estrictamente hablando.
- Programación de FPGAS para control o validación.
- Sincronización entre dispositivos.

Mplab-ide.

Es una Plataforma de Desarrollo Integrada bajo Windows, con múltiples ayudas, que permite escribir el programa para los PIC en lenguaje ensamblador o en C; crear proyectos, ensamblar o compilar; simular el programa y finalmente programar el componente.

MPLAB incorpora todas las utilidades necesarias para la realización de cualquier proyecto y, para los que no dispongan de un emulador, el programa permite editar el archivo fuente en lenguaje ensamblador, permitiendo ejecutarlo posteriormente en proceso y ver como evolucionarían de forma real tanto sus registros internos, la memoria RAM y/o EEPROM de usuario como la memoria de programa. Además, el entorno que se utiliza es el mismo que si se estuviera utilizando un emulador.

VI DISEÑADO

Para el diseño del Vi en LabVIEW, se tiene en cuenta los siguientes parámetros: el programa desarrollado debe obtener los valores de las temperaturas presentes en el prototipo (T1, T2, T3, T4, T5), estas variables van a ser transmitidas del circuito de control y potencia en grados centígrados. Así

mismo, el Vi debe encender la resistencia instalada en la línea de entrada de aire del sistema, de manera automática o manual según sea el caso.

Con lo mencionado anteriormente, se opta por etiquetar cada una de las variables de temperatura, a fin de conocer la medida en los diversos puntos del equipo, estas etiquetas corresponden a las letras “p”, “q”, “r”, “s” y “t” seguido del valor de la temperatura.

A continuación, se detalla el desarrollo del programa:

El software LabVIEW se encuentra dividido en dos paneles, panel frontal y panel de programa respectivamente, el primero se encarga de mostrar en pantalla la apariencia física del Vi diseñado (conjunto e leds, indicadores, menú, controles, graficas, etc.).

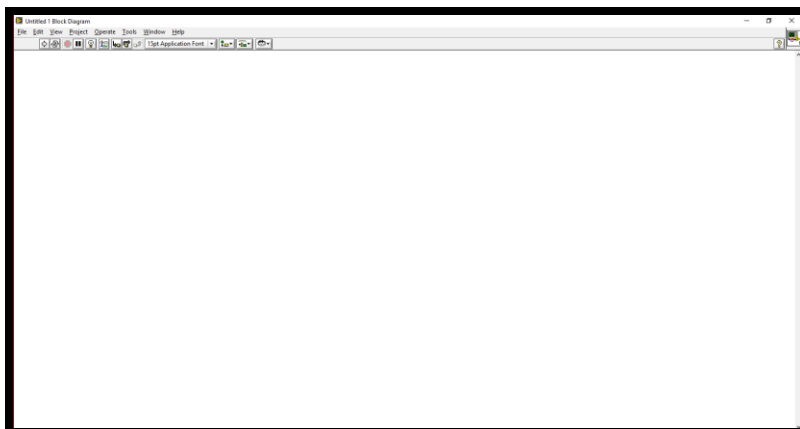
El segundo panel es el encargado de recibir las variables y generar el respectivo lenguaje C gráfico, para realizar las diferentes subrutinas que componen el proceso. La siguiente imagen corresponde al panel frontal y de bloques respectivamente.

Figura33.Panel frontal



Fuente: Autor

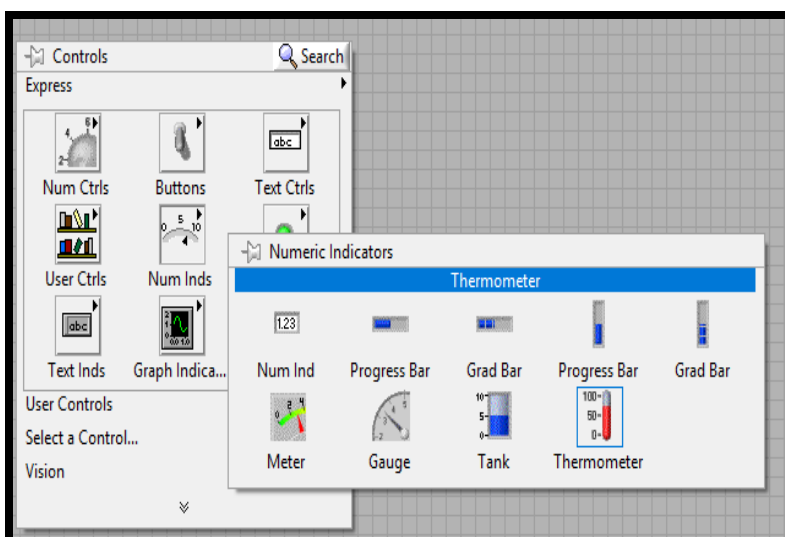
Figura 34. Diagrama de bloques



Fuente: Autor

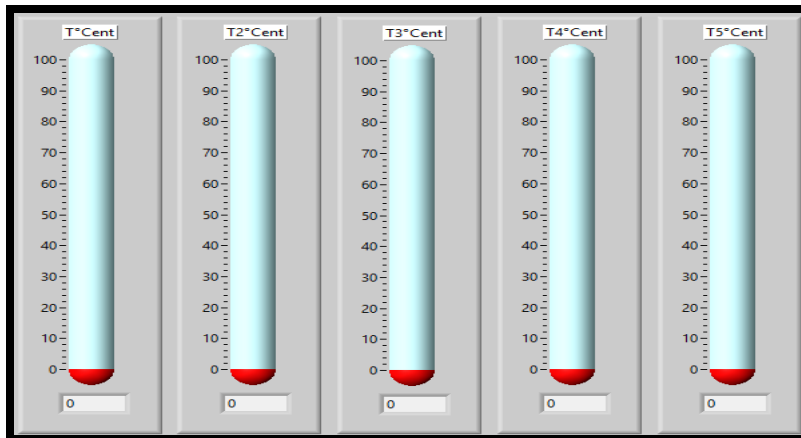
Para iniciar con el respectivo Vi, en el panel frontal se pulsa clic derecho del mouse, para obtener el respectivo menú de funciones de dicho panel, seguidamente se despliega el submenú “NumInds” y se selecciona el Thermometer para visualizar los valores de temperatura. Para el caso del programa diseñado, se seleccionan cinco indicadores de este tipo.

Figura 35. Obtención de medidor de temperatura



Fuente: Autor

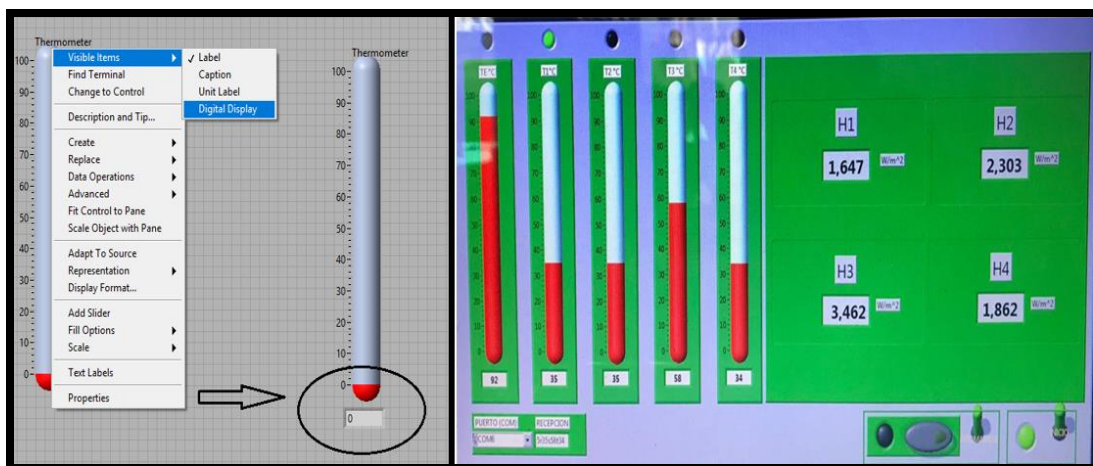
Figura 36. Grupo de medidores de temperatura



Fuente: Autor

Ubicándose sobre el medidor en el panel frontal, se presiona click derecho del mouse y se selecciona “Visible Items / Digital Display”, de esta manera se despliega adicional al elemento, un indicador que representa con mayor exactitud la medida que se desea registrar.

Figura 37. Display



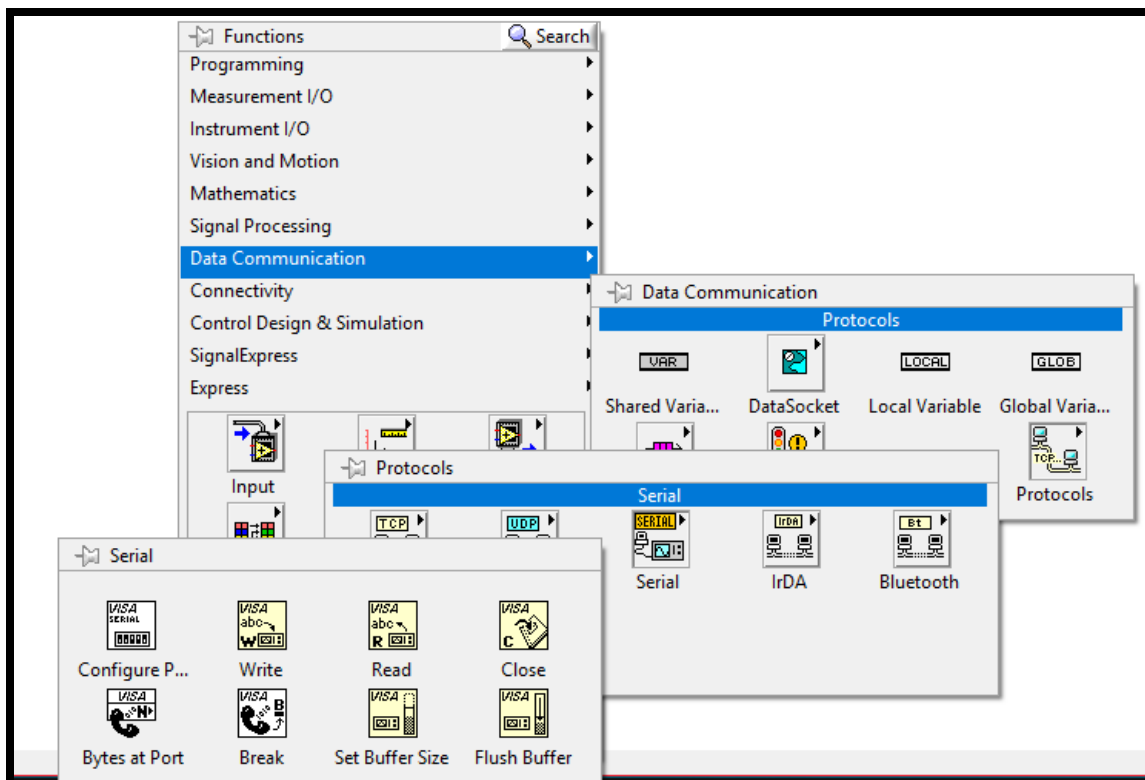
Fuente: Autor

El siguiente paso en el desarrollo del proyecto, es configurar la comunicación, la cual se realiza por medio del protocolo de comunicación RS232 Serial, sabiendo esto, es necesario colocar un control en el panel frontal, para conectar el puerto serial correctamente, se define la cantidad de bits que se van a recibir o transmitir, así como la paridad y el bit de parada del protocolo.

La Figura 37 permite representar el H convectiva obtenida a partir de la variación de temperatura en cada tramo de la tubería.

Para el proyecto se define una velocidad de transmisión de 9600 Baudios, no se coloca paridad y la trama de datos que se envía es de 8 bits respectivamente. Para configurar estos datos, se despliega el diagrama de bloques y se da click derecho del mouse, con lo cual se abre el menú principal, se selecciona el submenú “data communication / protocols / Serial / Configure Port”, de esta manera se obtiene la función de configuración de los parámetros anteriormente expuestos. La siguiente imagen corresponde al procedimiento que se menciona.

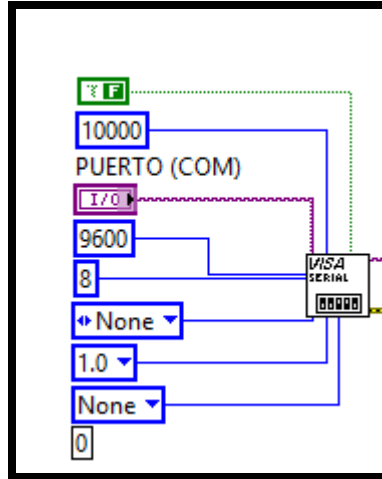
Figura 38. Configure



Fuente: Autor

La siguiente imagen corresponde a la función configurada para el proyecto.

Figura 39. Puerto configurado a 9600 Baudios

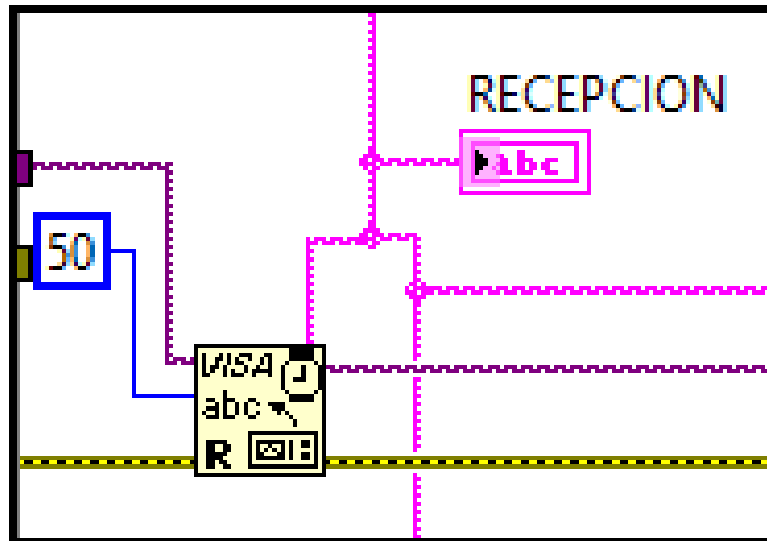


Fuente: Autor

Una vez configurado el puerto, se preparan las subrutinas necesarias para la lectura de las muestras procedentes del circuito de control y potencia, para ello se usa la función “VISA READ” obtenida dentro del submenú “PROTOCOLS” configurada para recibir un máximo de 50 Bytes por el puerto serial, a la salida de esta función se agrega un indicador de caracteres (Sting), para visualizar la información que se obtiene y de esta manera realizar control a las tramas de datos.

Una manera eficaz de obtener estos indicadores o controles, es ubicarse sobre la salida o entrada de la función, presionar click derecho y elegir el submenú “CREATE”, en dicho submenú se pueden obtener variables locales, de control, de indicación, constantes o invocación de nodos. La siguiente imagen corresponde al bloque de recepción.

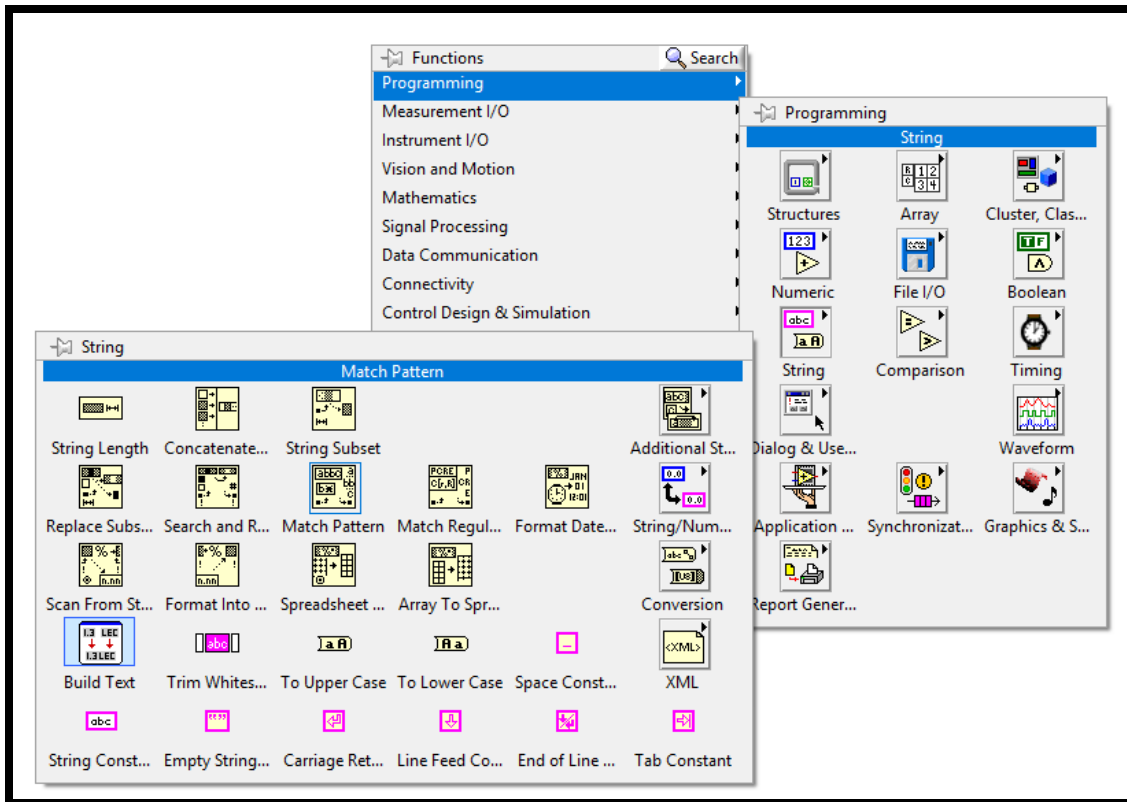
Figura 40. Recepción



Fuente: Autor

El color rosa de la salida de la función “VISA READ”, expresa que los valores que se obtienen, corresponden a caracteres y por tanto sus valores no son compatibles para realizar funciones matemáticas, por lo cual se debe convertir esa variable tipo carácter a numérica. Para ello, se despliega el menú principal en el diagrama de bloques y se selecciona el submenú “PROGRAMMING/ STRING/ MATCH PATTERN”, esta función permite buscar un carácter específico para luego separar la cadena de caracteres, en la presente situación, se han etiquetado las variables con letras, por lo cual, se carga esta letra en la función, obteniendo una nueva cadena de caracteres.

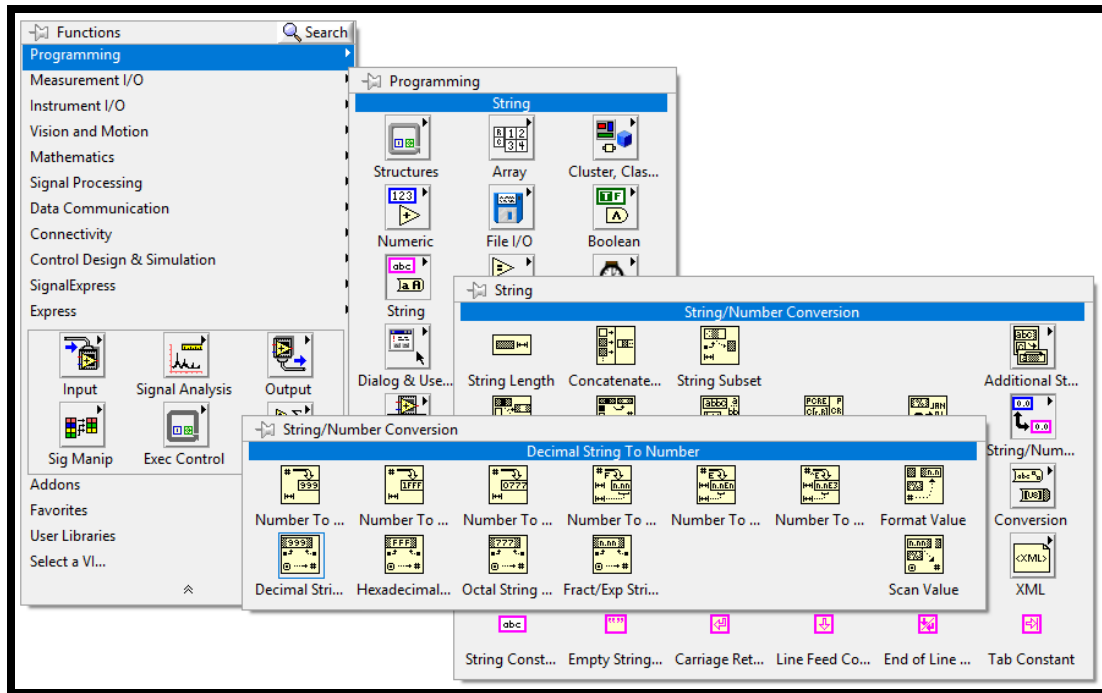
Figura 41. Variables numéricas



Fuente: Autor

Estos caracteres aun no son variables numéricas, con lo cual se hace necesario convertir dicha cadena a números, para este fin, se usa la función “DECIMAL STRING TO NUMBER”

Figura 42. Conversión de números a carácter

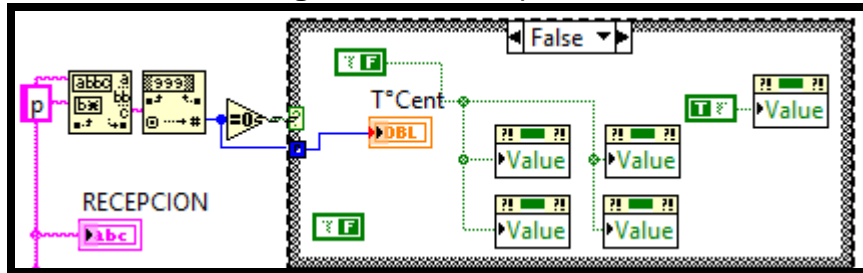


Fuente: Autor

Esta función, como su nombre lo indica, convierte un conjunto de números en formato carácter a su igual en decimal, de esta forma el resultado ya puede ser utilizado para el resto de operaciones en el LabVIEW (visualización en el termómetro, operaciones matemáticas, invocación de nodo).

Para obtener el resultado deseado de censado de temperatura, se utiliza la estructura "CASE", la cual permite realizar un bucle siempre y cuando se cumpla el caso, este no necesariamente debe ser un valor booleano, también acepta valores numéricos. En la etapa de lectura de la información, se utilizan variables booleanas quedando como lo indica la siguiente imagen.

Figura 43. Match pattern



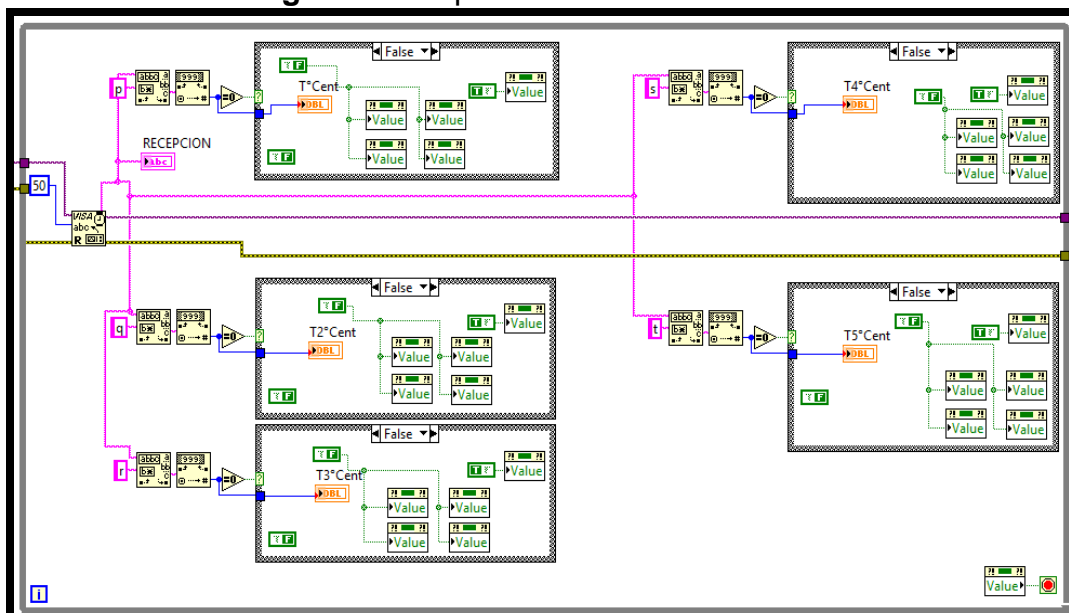
Fuente: Autor

Se aprecia en la imagen que el dato que llega del puerto, ingresa a la función MATCH PATTERN, donde se separan los números en formato String para luego ser convertidos en la siguiente función a números decimales, la estructura trabaja si la comparación que ingresa no es igual a cero, lo que expresa que existe una cadena de caracteres a la salida de la función de conversión. La siguiente imagen corresponde a la subrutina de captura de las temperaturas, teniendo en cuenta el cálculo de la ecuación del hconvectiva:

$$h = \frac{KNu}{\varnothing}$$

Donde, $K = 0.02808 \frac{W}{mK}$; $Nu = \text{Numero de Nusselt}$; $\varnothing = \text{Diametro}$

Figura 44. Representación de estructura



Fuente: Autor

Para la conversión de temperaturas se tuvieron en cuenta las siguientes ecuaciones:

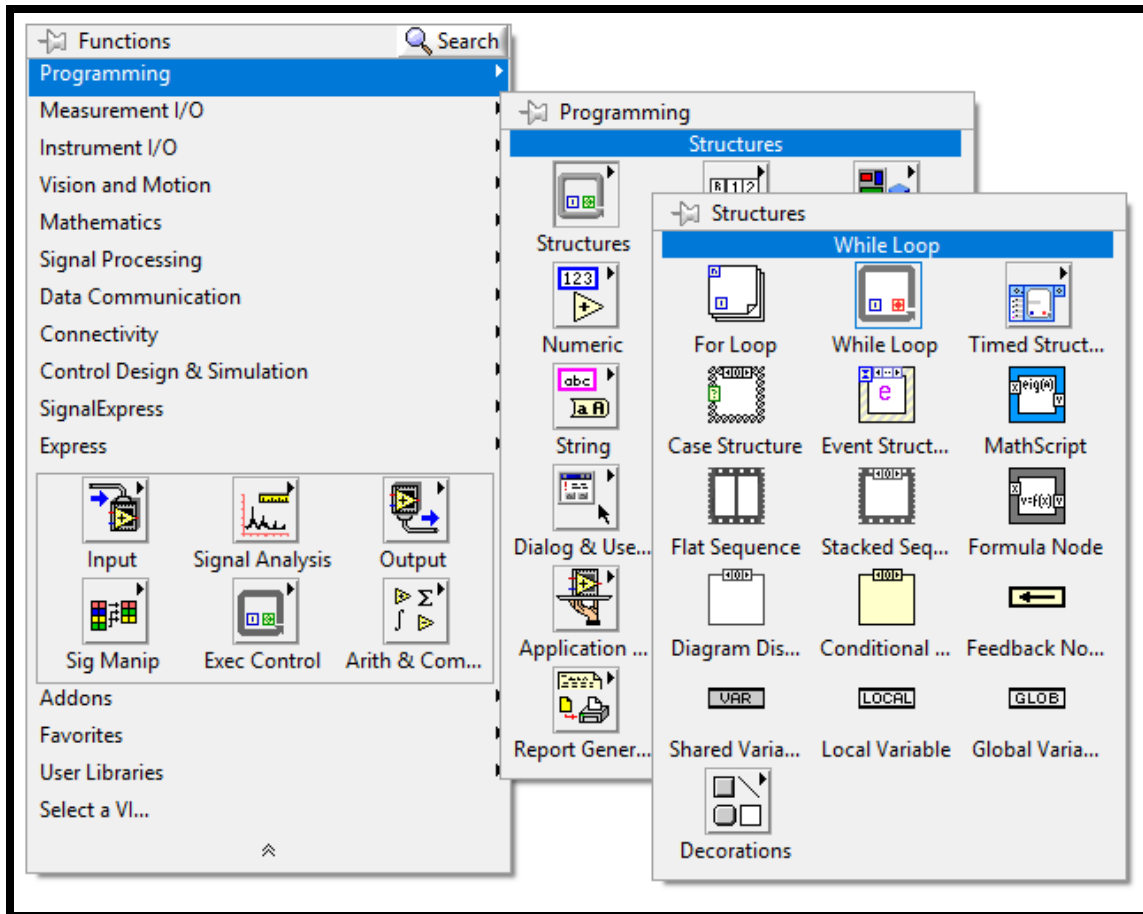
- $F = °C \times 1.8 + 32$
- $K = °C + 273.15$
- $°C = K - 273.15$
- $°C = (°F - 32) / 1.8$

Estas subrutinas se encuentran inmersas en la estructura “WHILE”, la cual trabaja solo cuando se acciona el respectivo control en el panel frontal para arranque del proceso. Esta variable conectada al nodo de activación de la estructura, es una invocación de nodo para dicho control.

Invocar un nodo en un control o un indicador, hace que el programa que se está desarrollando trabaje en paralelo realizando diferentes funciones a la vez, eliminando el retardo secuencial de las operaciones, maximizando de esta manera el proceso deseado.

Para obtener la estructura “WHILE”, se despliega el menú en el diagrama de bloques “PROGRAMMING/ STRUCTURES/ WHILE LOOP”.

Figura 45.WhileLoop



Fuente: Autor

3.3.1. Elementos utilizados en el proyecto

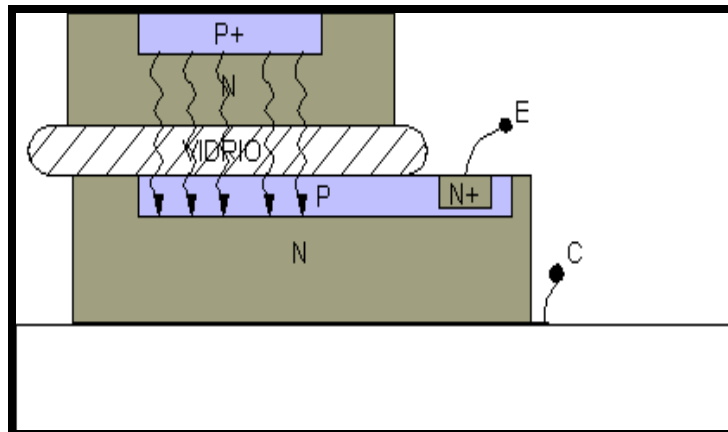
- **Opto acoplador**

Es un componente formado por la unión de al menos un emisor (diodo LED) y un fotodetector (fototransistor u otro) acoplados a través de un medio conductor de luz, pueden ser encapsulados o de tipo discreto.

Cuanta mayor intensidad atraviesa el fotodiodo, mayor será la cantidad de fotones emitidos y, por tanto, mayor será la corriente que recorra el fototransistor. Se trata de una manera de transmitir una señal de un circuito eléctrico a otro.

Como se muestra en la Fig. 46, no existe comunicación eléctrica entre los dos circuitos, es decir existe un trasiego de información, pero no existe una conexión eléctrica: la conexión es óptica.

Figura 46. Proceso de transmisión de señal



Fuente: <http://www.comunidadelectronicos.com.ar>

- **MOC 3020**

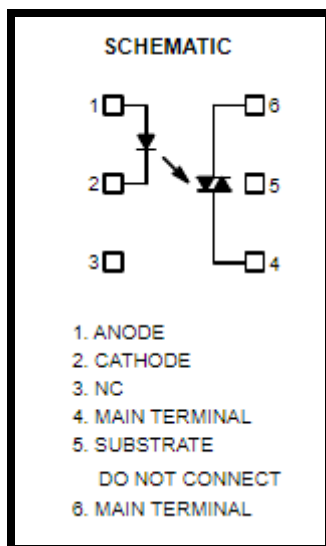
Consta de un diodo emisor infrarrojo de arseniuro de galio, se haya acoplado ópticamente a un interruptor bilateral de silicio (DIAC). Este dispositivo está diseñado para ser usado en aplicaciones que requieren disparo aislado de TRIAC, así como medio de protección ante corto circuitos.

Sus principales características son:

- Tensión máxima de bloqueo de 400V.
- Tensión de aislamiento de 4.17KV.
- Modo de funcionamiento TRIAC sin cruce por cero.
- Controlador de salida Diseñado para la línea de 240 VAC.
- Encapsulado DIP.
- Rango de temperatura de funcionamiento de -40 ° C a 85 ° C.
- Corriente LED de 15mA.

La siguiente figura muestra las conexiones del integrado.

Figura 47. Conexiones del integrado



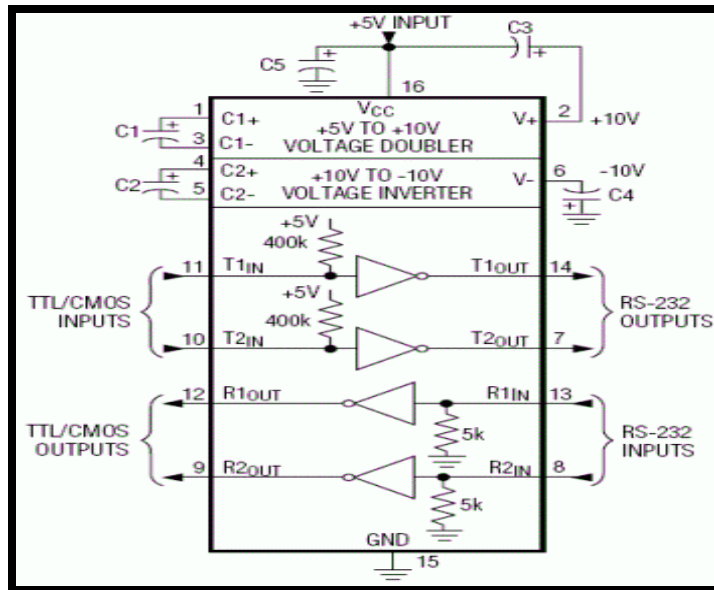
Fuente: Autor

• **Integrado de Comunicación Serial MAX232.**

Es un circuito integrado que convierte los niveles de las líneas de un puerto serie RS232 a niveles TTL y viceversa; por medio de dos conversores de nivel TTL a RS232 y otros dos que, a la inversa, convierten de RS232 a TTL. Estos conversores son suficientes para manejar las cuatro señales más utilizadas del puerto serie del PC, que son TX, RX, RTS y CTS. Siendo TX la señal de transmisión de datos, RX la de recepción, y RTS y CTS se utilizan para el protocolo de envío y recepción de los datos.

Sólo requiere una alimentación de 5V, pues internamente genera algunas tensiones que son necesarias para el estándar RS232. Otros integrados que manejan las líneas RS232 requieren dos voltajes, +12V y -12V. Como se aprecia en la Fig. 46, este integrado da solución a la conexión necesaria para lograr comunicación entre el puerto serie de una PC y cualquier otro circuito que funcione con base en señales de nivel TTL/CMOS.

Figura 48. Integrado de Comunicación Serial



Fuente: www.simbologia-electronica.com

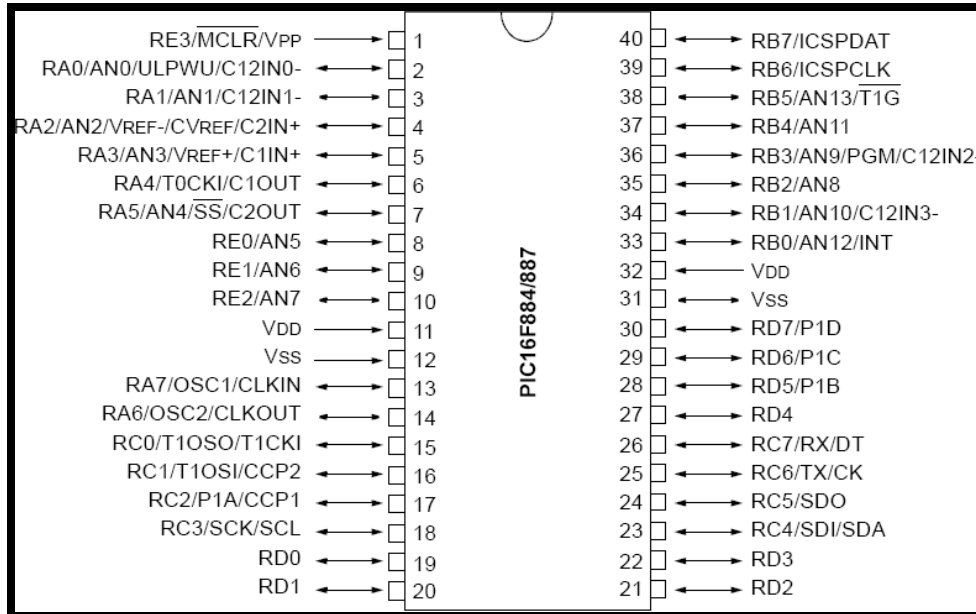
• Microcontrolador PIC 16F887

El PIC utilizado para realizar este proyecto, es un PIC de gama media alta de la familia 16FXXX, (16F887). El cual cuenta con las siguientes características que lo hacen necesario para el desarrollo del prototipo:

- Tecnología CMOS.
- Procesador RISC.
- Memoria Flash de 32k bytes.
- Memoria de instrucciones de 16384.
- Memoria RAM de 1536 bytes.
- Memoria EEPROM de 256 bytes.
- Bus datos de 8 bits, bus de instrucciones de 16 bits.
- Módulo de puerto serie síncrono (3-wire y I2C).
- USART direccionable, soporta RS-485 y RS-232.
- Módulo de puerto paralelo.
- Módulo conversor A/D de 10 bits.

En la siguiente figura 49 se observa la disposición del patillaje del PIC.

Figura 49. Pines del Microcontrolador PIC 16F887

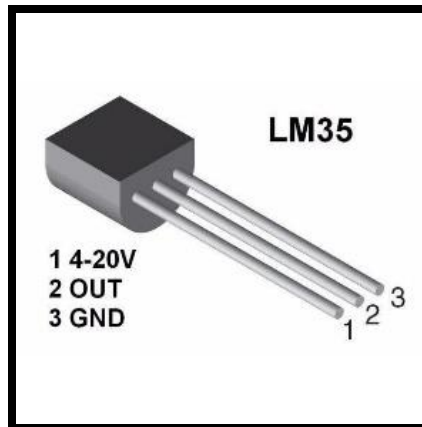


Fuente: Datasheet

- **LM35**

Es un sensor de temperatura con una precisión calibrada de 1 °C por cada 10mV. Su rango de medición se encuentra desde -55 °C hasta 150 °C con una salida lineal en relación al voltaje y la temperatura de sensado. La medida a la que se encuentra ajustado por fabrica, es grados Centígrados, cuenta con una baja impedancia y la corriente de consumo es de 60uA. La siguiente imagen muestra el patillaje de este elemento.

Figura 50. Representación LM35



Fuente: Datasheet

- **TRIAC BTA41A**

Es un dispositivo semiconductor de tres terminales que se usa para controlar el flujo de corriente promedio a una carga, con la cualidad de conducir en ambos sentidos, puede ser disparado independientemente de la polarización de puerta, es decir, mediante una corriente de puerta positiva o negativa. El BTA41-600B es un TRIAC para operaciones de control de fase en controladores de velocidad de motor y atenuadores de luz, entre otros.

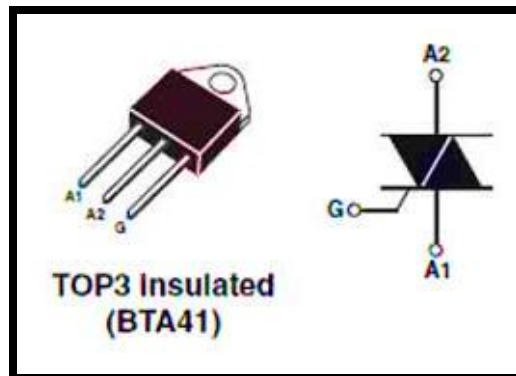
Las características más importantes se detallan a continuación.

- Tensión máxima de apagado repetitiva, V_{drm} : 600 V.
- Corriente RMS de encendido $I_T(rms)$: 41 A.
- Corriente de compuerta máxima, I_{gt} : 100 mA.
- Voltaje de compuerta máximo, V_{gt} : 1.3 V.
- Potencia pico de la compuerta: 1 W.
- Corriente máxima transitoria de 400 A.
- Corriente máxima de retención I_h : 80 mA.
- Temperatura de trabajo máxima: 125°C.

- Encapsulado: TOP-3.
- 3 pines.

La siguiente imagen corresponde a la configuración de pines del elemento.

Figura 51. Top3 Insulated (BTA41)



Fuente: Datasheet

3.3.2. Descripción del proyecto

- **Circuito de control**

Está compuesto por cinco sensores de temperatura LM35, un cristal de 4 Mega Hertz, dos capacitores cerámicos de 22pF, el circuito integrado MAX 232CPE, encargado de la comunicación por medio del protocolo RS232, todo ello acoplado al microcontrolador PIC 16F887, siendo este el corazón del proyecto, ya que captura las señales de los sensores, las interpreta para luego transmitir las al integrado MAX232 para su recepción en LabVIEW, de igual manera activa de acuerdo a la información recibida desde el PC, la etapa de potencia.

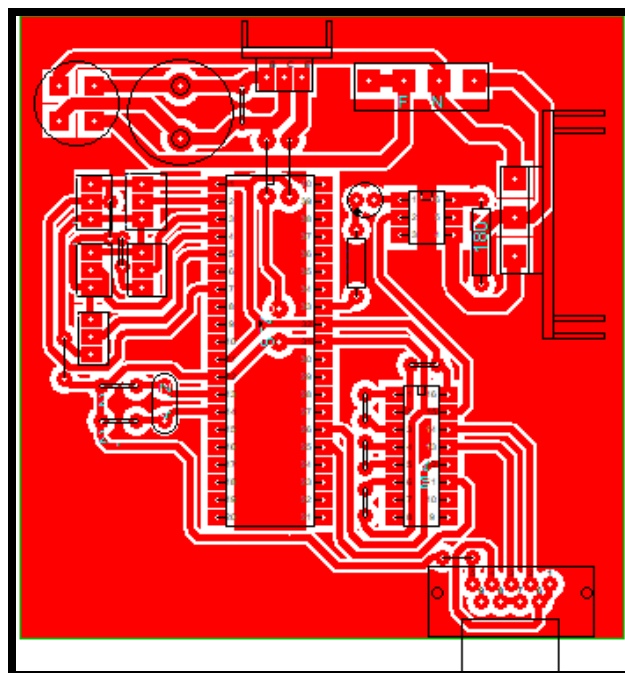
- **Circuito de potencia**

Esta etapa del proyecto la componen un opto acoplador MOC 3020, un TRIAC BTA41A, una resistencia de 150 Ohmios a 1/2W, un diodo indicador de

funcionamiento de la etapa con su respectiva resistencia (220 ohmios). El funcionamiento se genera desde el opto acoplador MOC 3020, este internamente está compuesto por un diodo infrarrojo y un DIAC, al ser encendido este infrarrojo por medio del microcontrolador por la salida B0 del mismo, excita al DIAC en su interior, el cual a su vez permite el flujo de voltaje AC hacia la compuerta del TRIAC, la cual permite de esta forma el paso de corriente hacia la resistencia, cerrando el circuito.

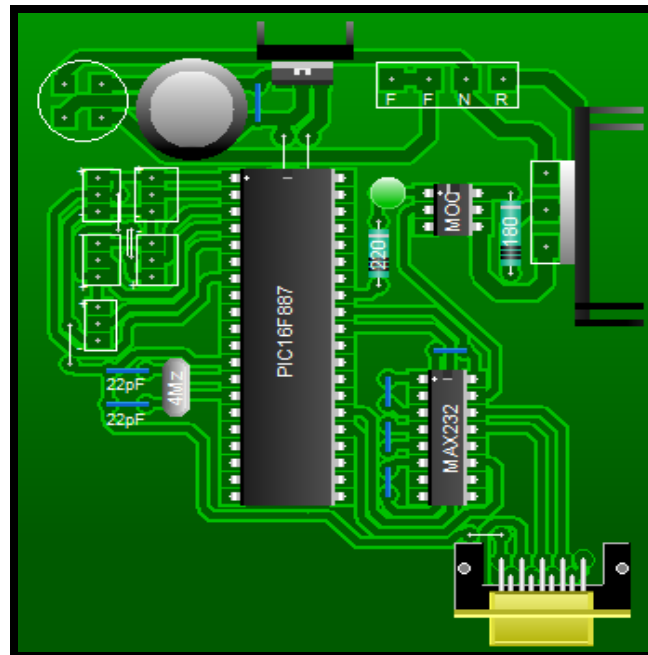
A continuación, se muestra en las siguientes imágenes la PCB diseñada.

Figura 52. Cara inferior



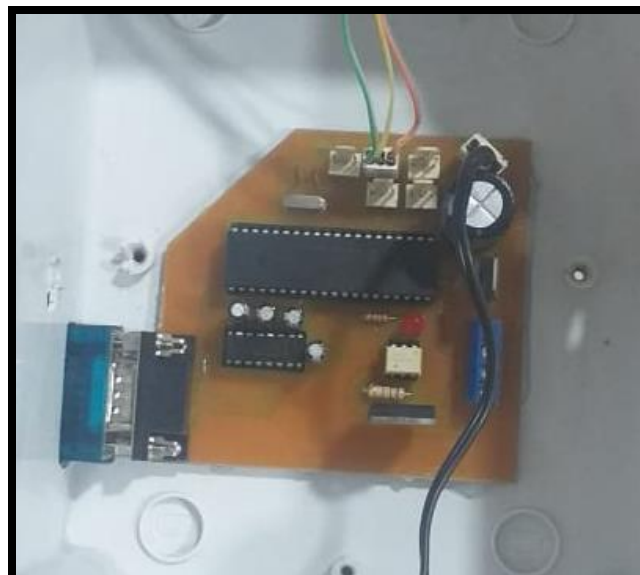
Fuente: Autor

Figura 53.cara superior



Fuente: Autor

Figura 54. Tarjeta de control



Fuente: Autor

Por otro lado, se concluye que cuando la temperatura registrada por el drum llega a 150°C se envía una señal al sistema de control (Ver Figura 54), generando una acción de corte de energía a la entrada de la resistencia. Esto con el propósito de controlar el grado máximo de temperatura operada en el sistema.

3.3.3. Programación del microcontrolador

Las señales procedentes desde cada uno de los sensores de temperatura LM35, ingresan por el puerto A del microcontrolador, dicho puerto, además de ser configurado como entrada o salida digital, también cuenta con el módulo ADC, que toma las señales análogas y las convierte en señales equivalentes digitales.

En este puerto se realiza la conversión análoga/digital y procesa los datos, los cuales quedan almacenados en las variables “salida1, salida2, salida3, salida4 y salida5” respectivamente, para posteriormente ser transmitidas vía RS232 al PC.

El pin B0 del puerto B del microcontrolador, enciende o apaga la resistencia en la etapa de potencia. A continuación, en la Tabla 8, se muestra el programa realizado en lenguaje CCs COMPILER.

Tabla 8. Descripción de programa

Items	Programa	Descripción
1	# include<16f887>	Definición de microcontrolador
2	#device adc=10	Adc a 10 bits
3	#include <stdlib.h> #include <stdio.h>	Librerías para funciones de ruteo.
4	#fuses XT, NOWDT, NOPROTECT, NOLVP,MCLR	Se define el tipo de cristal (4Mhz), sin protección de escritura.
5	#users232(baud=9600,	Configuración protocolo RS232 a

	xmit=pin_c6,rcv=pin_c7, parity=n,bits=8)	9600 baudios, sin paridad y 8 bits de transmisión
6	#define AN0 0x0E #byte port_a=5 #byte port_b=6 #byte port_c=7 #byte port_d=8 #byte port_e=9 #define resistencia pin_b0	Definición de las direcciones de los puertos del PIC, salida por el pinB0 del microcontrolador para encender resistencia.
7	long respuesta=0; long valor1=0; int conteo=1; long salida1=0; long salida2=0; long salida3=0; long salida4=0 ;long salida5=0; char receptor=0; char sensor[4]; longmuestrasensor,i; long puerto=0; int bandera=0;	Definicion de las variables tipo carater (char), entero largo (long), entero corto (int).
8	#int_rda void recibir(void) { receptor=getc(); }	Se encarga de recibir la información del PC y la almacena en la variable tipo carácter "receptor".
9	funcion_demorauno() { for (i=0; i<25; i++) { delay_ms(2); } }	Retardo necesario para recibir o transmitir correctamente la trama de información desde o hacia el computador.
10	longfuncion_sensor(void) { muestrasensor=puerto; delay_ms(1); return(muestrasensor); }	Esta subrutina carga el valor de las diversas temperaturas en la variable puerto para luego ser enviada al computador.
11	void transmision(void)	

	<pre> { putc('p'); funcion_demorauno(); puerto=salida1; funcion_sensor(); sprintf(sensor,"%lu\n",muestrasensor); printf(sensor); delay_ms(50); putc('q'); funcion_demorauno(); puerto=salida2; funcion_sensor(); sprintf(sensor,"%lu\n",muestrasensor); printf(sensor); delay_ms(50); putc('r'); funcion_demorauno(); puerto=salida3; funcion_sensor(); sprintf(sensor,"%lu\n",muestrasensor); printf(sensor); delay_ms(50); putc('s'); funcion_demorauno(); puerto=salida4; funcion_sensor(); sprintf(sensor,"%lu\n",muestrasensor); printf(sensor); delay_ms(50); putc('t'); funcion_demorauno(); puerto=salida5; funcion_sensor(); sprintf(sensor,"%lu\n",muestrasensor); printf(sensor); } </pre>	<p>Subrutina encargada de transmitir los diversos valores de temperatura obtenidos, cada transmisión va antepuesta con una letra, la cual actúa como etiqueta para que el programa de LabVIEW comprenda que temperatura dentro del prototipo está recibiendo, para de esta manera obtener un cálculo exacto.</p>
<p>12</p>	<pre> void main() { </pre>	<p>Configura la entrada del puerto A</p>

	<pre> setup_adc_ports(all_analog); setup_adc(adc_clock_internal); set_adc_channel(0); enable_interrupts(int_rda); enable_interrupts(global); </pre>	<p>como señales análogas, habilita la interrupción de recepción serial, habilita las interrupciones globales.</p>
13	<pre> while (true) { if(receptor=='o'){output_high(resistencia);} if(receptor=='f'){output_low(resistencia);} } </pre>	<p>Mientras la instrucción sea verdadera, se queda en el bucle. Si el valor leído por el puerto serial es la letra "o", entonces enciende la resistencia, pero si el valor leído es equivalente a la letra "f", la desconecta.</p>
14	<pre> if(bandera==0) { set_adc_channel(0); while(conteo<20) { valor1 = read_adc(); respuesta=respuesta+((valor1)/2); conteo++; delay_ms(5); } salida1=respuesta/20; bandera++; conteo=1;respuesta=0; } </pre>	<p>Bandera es la variable que permite acceder los diferentes canales del módulo ADC, cuando es cero, ingresa al canal 0, realiza una suma de 20 para luego realizar promedio de la temperatura.</p> <p>Este valor queda almacenado en la variable "salida1"</p>
15	<pre> if(bandera==1) { set_adc_channel(1); while(conteo<20) { valor1 = read_adc(); respuesta=respuesta+((valor1)/2); conteo++; delay_ms(5); } } </pre>	<p>Bandera ahora accesa al canal 1 del microcontrolador, se repite el proceso realizado en el canal 0, pero se almacena el resultado en la variable "salida2".</p>

	<pre> salida2=respuesta/20; bandera++; conteo=1;respuesta=0; } </pre>	
16	<pre> if(bandera==2) { set_adc_channel(2); while(conteo<20) { valor1 = read_adc(); respuesta=respuesta+((valor1)/2); conteo++; delay_ms(5); } salida3=respuesta/20; bandera++; conteo=1;respuesta=0; } //////////////////////////////////// if(bandera==3) { set_adc_channel(3); while(conteo<20) { valor1 = read_adc(); respuesta=respuesta+((valor1)/2); conteo++; delay_ms(5); } salida4=respuesta/20; bandera++; conteo=1;respuesta=0; } if(bandera==4) { set_adc_channel(4); while(conteo<20) { valor1 = read_adc(); respuesta=respuesta+((valor1)/2); conteo++; delay_ms(5); } salida5=respuesta/20; bandera=0; </pre>	Se repite el proceso anterior.

	conteo=1; respuesta=0; }	
17	transmisión (); salida1=0; salida2=0; salida3=0; salida4=0; salida5=0; } }	Finalmente, luego de leer las temperaturas, se procede en la transmisión de los datos.

Fuente: Autor

3.3.4. Pruebas banco de convección forzada

A continuación, se describen las pruebas realizadas al banco de convección forzada con el propósito de conocer el $h_{conectiva}$ con relación a la temperatura y presión operada en el sistema.

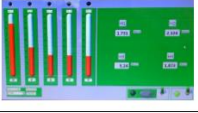

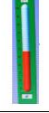




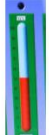


En la figura 55, se puede observar los cambios en los comportamientos de transferencia, por ejemplo se refleja que cuando el tiempo esta en 0 la temperatura de entrada es de 30 °C, la temperatura lineal digital es de 28 °C y analoga es de 30 °C . En cambio, cuando el tiempo de presión calcula 1:30 minutos, la temperatura de entrada es de 80 °C , la temperatura digital varia a 30°C y la analoga 36 C°. Todos estos datos recopilados, se exponen en la figura 2 donde se evidencia los cambios realizados en el estudio

Figura 55. Líneas de transferencia

LINEA 1	PRESION	TIEMPO	T° ENTRADA	1° LINEA		h1
				DIGITAL	ANALOGA	
20 PSI		0	30 C°	28 T°	30T°	
		1:30 min	80 C°	43 C°	36 C°	1,753
		3 min	88 C°	47 C°	38 C°	1,731
		6 min	97 C°	51 C°	42 C°	1,704

Fuente: Autor

Figura 56.
Evidencia

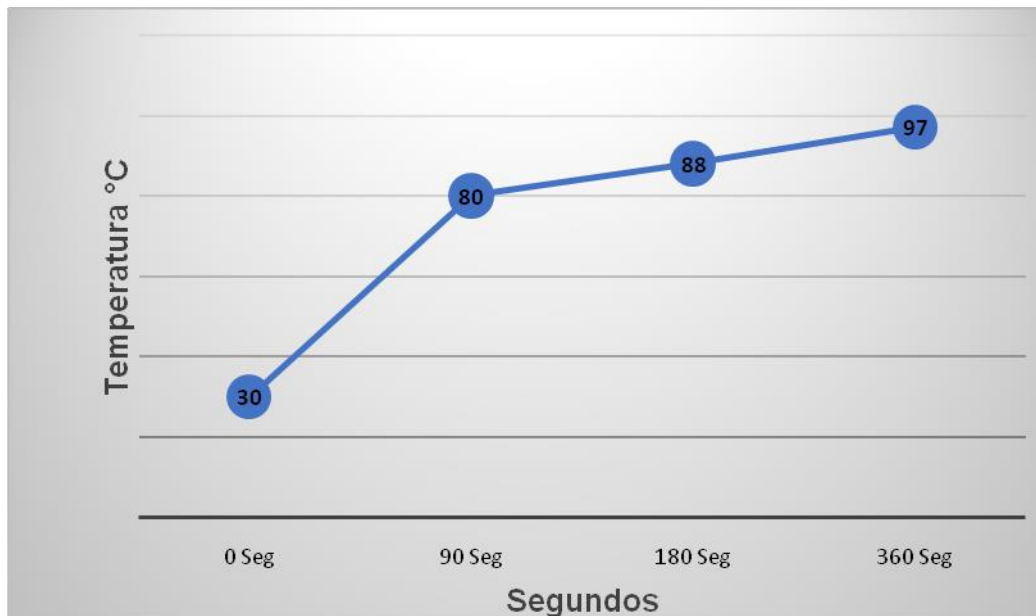
LINEA 1	PRESION	TIEMPO	IMG.	T° ENTRADA	T° LINEA		h1
					DIGITAL	ANALOGA	
					20 PSI	1:30 min	
3 min							
6 min							

Fuente: Autor

De acuerdo a las variables registradas en el software LABVIEW, se logra evidenciar el comportamiento de las mismas lo cual se registra en las figuras, donde se grafica los comportamientos de los versus de la línea 1, en el cual se establece que cuando el tiempo va aumentando, se modifica los estados de transferencia, también se observa que a medida que aumenta la temperatura, el H_1 Convectiva disminuye.

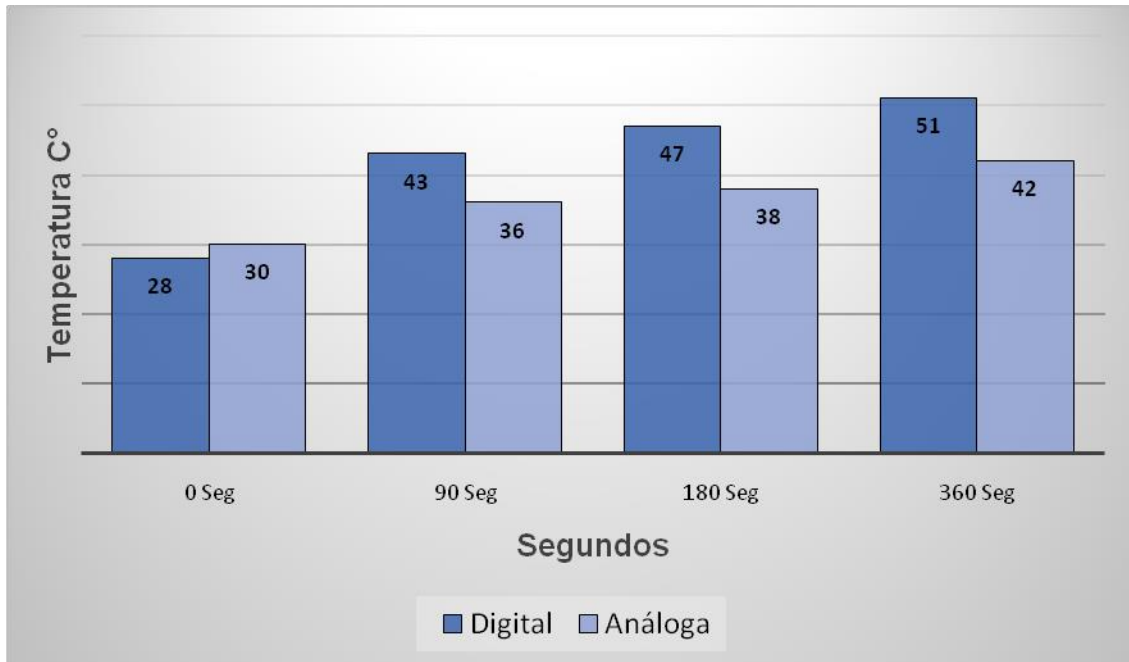
Esta información es recopilada de acuerdo a las pruebas en el banco de convección forzada donde se realizaron diferentes pruebas en cada línea, las cuales dan como resultado los siguientes datos:

Figura 57. Tiempo Vs temperatura entrada



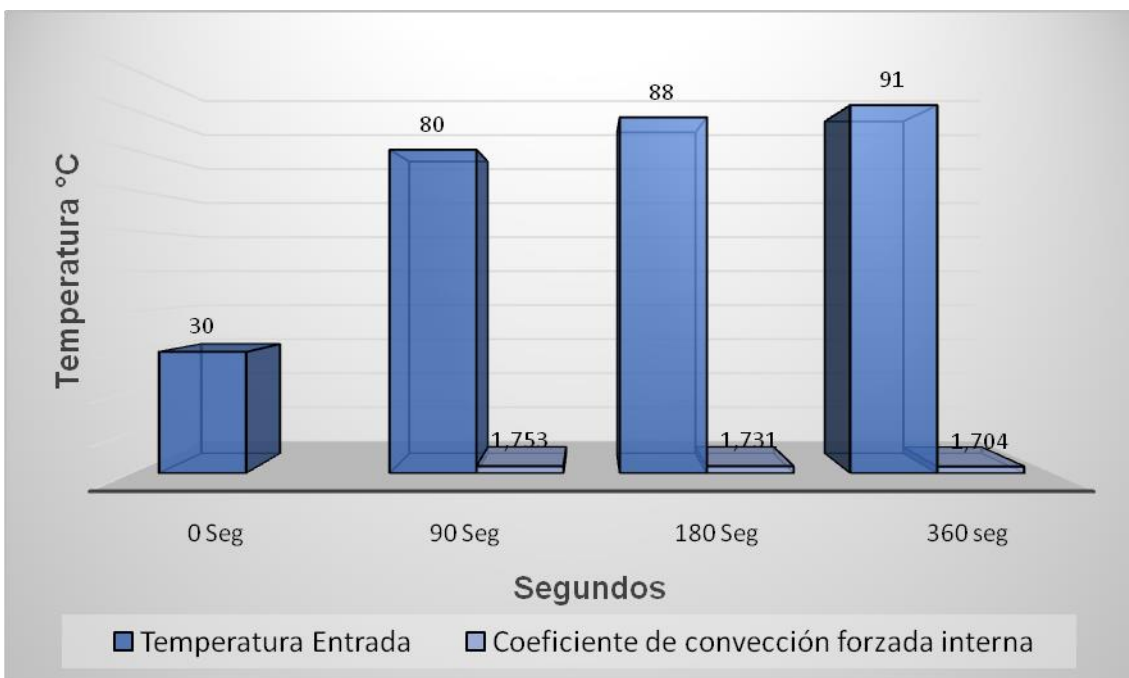
Fuente: Autor

Figura 58. Temperatura digital vs análoga



Fuente: Autor

Figura 59. Temperatura entrada Vs h_1 Coeficiente de convección forzada



Fuente: Autor











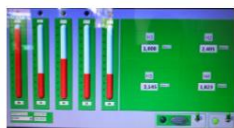




En la figura 60, se puede observar los cambios en los comportamientos de temperatura, por ejemplo se refleja que cuando el tiempo esta en 0 la temperatura de entrada es de 30 °C , la temperatura lineal digital es de 30 °C y analoga es de 30 °C. En cambio, cuando el tiempo de presión calcula 1:30 minutos, la temperatura de entrada es de 77 °C , la temperatura digital varia a 45°C y la analoga 36 °C. Todos estos datos recopilados, se exponen en la figura 7 donde se evidencia los cambios realizados en el estudio.

Figura 60. Líneas de transferencia

LINEA 2	PRESION	TIEMPO	T° ENTRADA	T° LINEA		h2
				DIGITAL	ANALOGA	
		20 PSI	0	30 C°	30 C°	30 C°
		1:30 min	77 C°	45 C°	36 C°	2,491
		3 min	85 C°	49 C°	38 C°	2,459
		6 min	98 C°	55 C°	42 C°	2,405

Fuente: Autor

Figura 61. Evidencia

LINEA 2	PRESION	TIEMPO	IMG.	T° ENTRADA	T° LINEA		h2
					DIGITAL	ANALOGA	
	20 PSI	1:30 min					
		3 min					
		6 min					

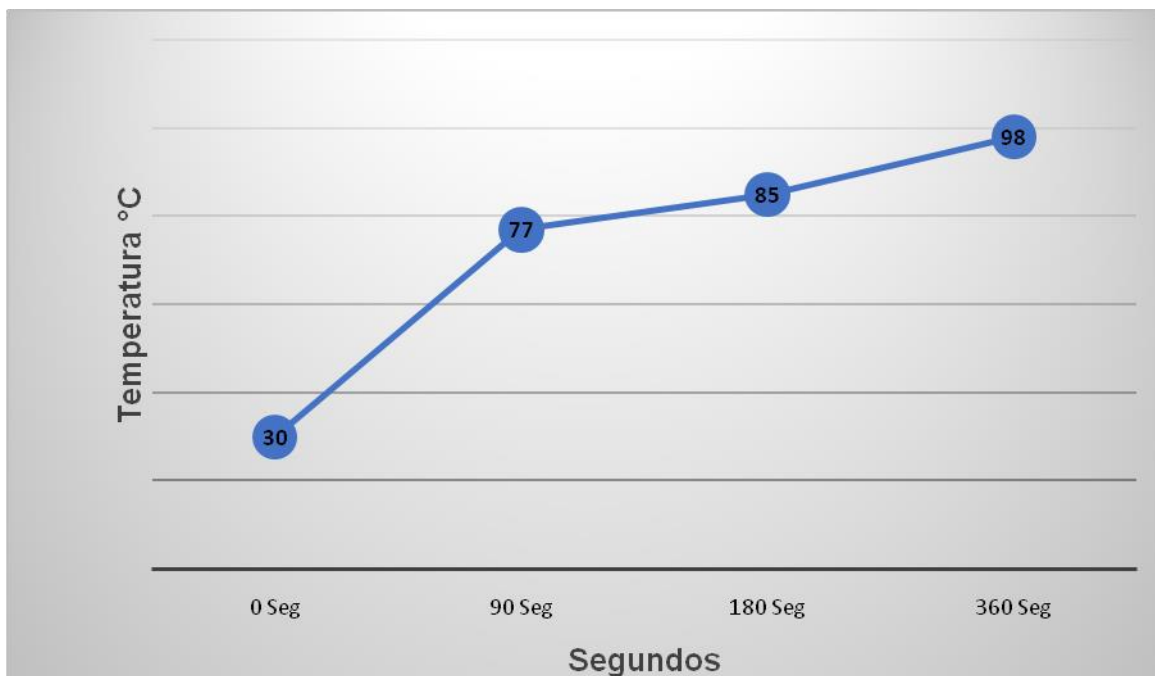
Fuente: Autor

De acuerdo a las variables registradas en el software LABVIEW, se logra evidenciar el comportamiento de las mismas lo cual se registra en las figuras,

donde se grafica los comportamientos de los versus de la línea 2, en el cual se establece que cuando el tiempo va aumentando, se modifica los estados de transferencia, también se observa que a medida que aumenta la temperatura, el H2 Convectiva disminuye.

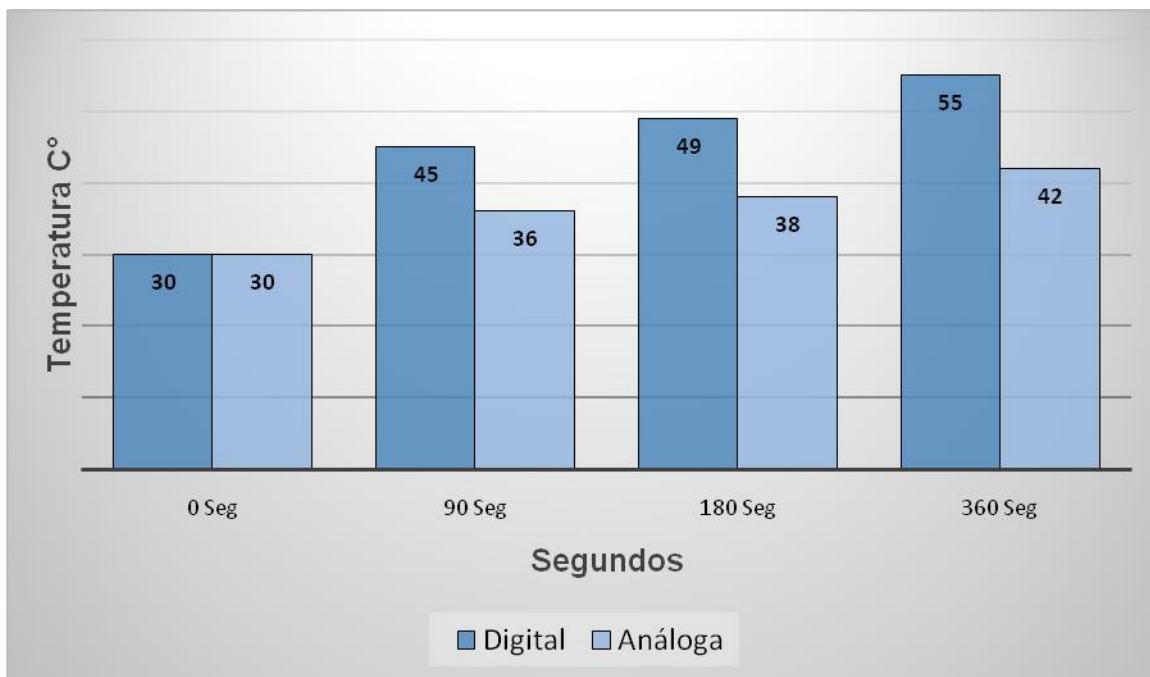
Esta información es recopilada de acuerdo a las pruebas en el banco de convección forzada donde se realizaron diferentes pruebas en cada línea, las cuales dan como resultado los siguientes datos:

Figura 62. Tiempo Vs temperatura entrada



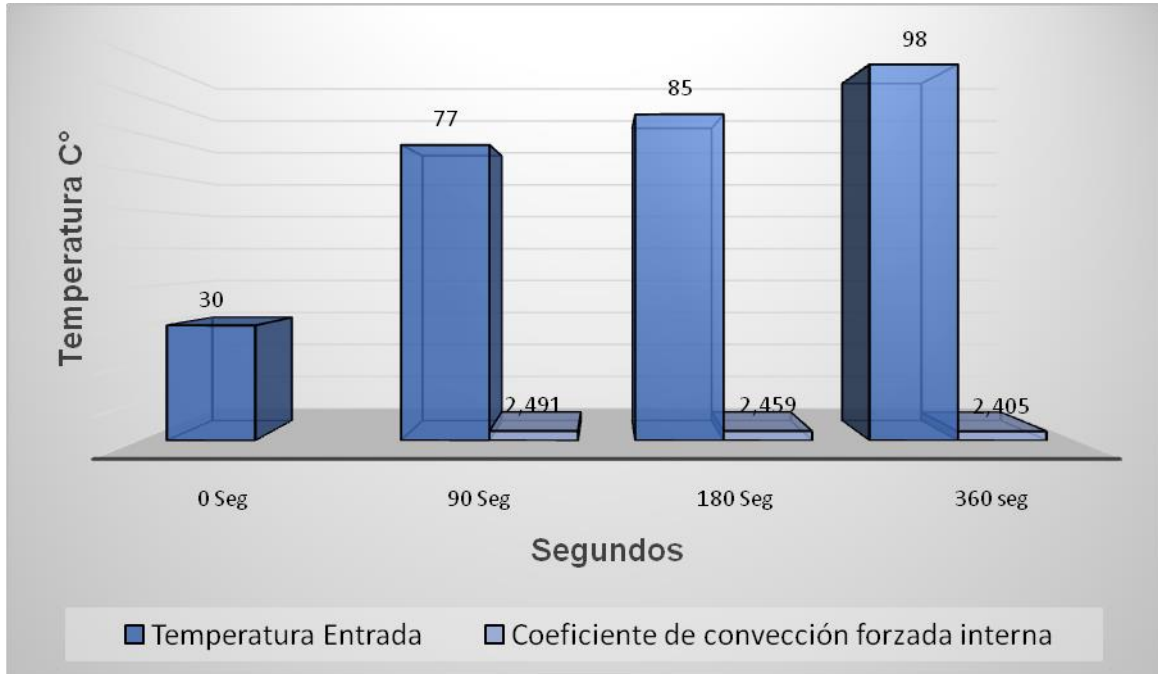
Fuente: Autor

Figura 63. Temperatura digital vs análoga



Fuente: Autor

Figura 64. Temperatura entrada Vs h_2 Coeficiente de convección forzada



Fuente: Autor


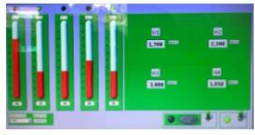


En la figura 65, se puede observar los cambios en los comportamientos de transferencia, por ejemplo se refleja que cuando el tiempo esta en 0 la temperatura de entrada es de 31 °C , la tempertatura lineal digital es de 30 °C y análoga es de 30 °C. En cambio, cuando el tiempo de presión calcula 1:30 minutos, la temperatura de entrada es de 72 °C , la temperatura digital varia a 46°C y la analoga 36 °C. Todos estos datos recopilados, se exponen en la figura 12 la evidencia de los cambios realizados en el estudio.

Figura 65. Líneas de transferencia

LINEA 3	PRESION	TIEMPO	T° ENTRADA	T° LINEA		h3
				DIGITAL	ANALOGA	
LINEA 3	22 PSI	0	31 T°	30 C°	30 C°	
		1:30 min	72 C°	46 C°	36 C°	3,555
		3 min	80 C°	49 C°	38 C°	3,496
		6 min	92 C°	58 C°	42 C°	3,462

Fuente: Autor

Figura 66. Evidencia

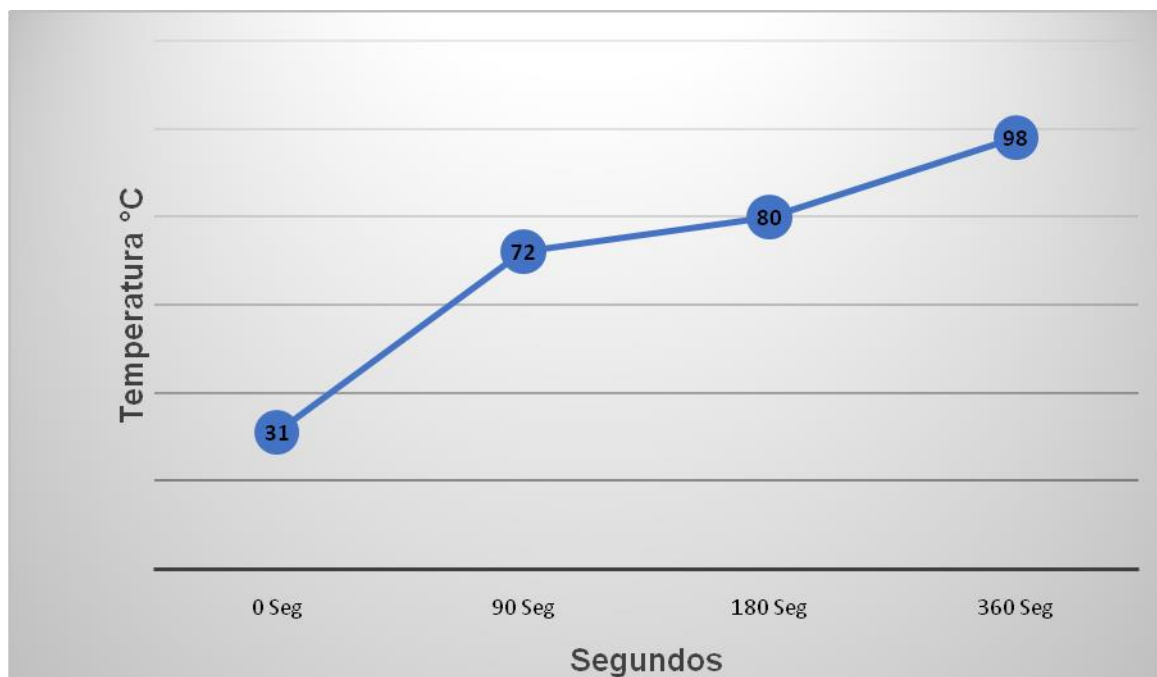
LINEA 3	PRESION	TIEMPO	IMG.	T° ENTRADA	T° LINEA		h3
					DIGITAL	ANALOGA	
LINEA 3	22 PSI	1:30 min					
		3 min					
		6 min					

Fuente: Autor

De acuerdo a las variables registradas en el software LABVIEW, se logra evidenciar el comportamiento de las mismas, lo cual se registra en las figuras, donde se grafica los comportamientos de los versus de la línea 3, en el cual se establece que cuando el tiempo va aumentando, se modifica los estados de transferencia, también se observa que a medida que aumenta la temperatura, el $h_{3conectiva}$ disminuye.

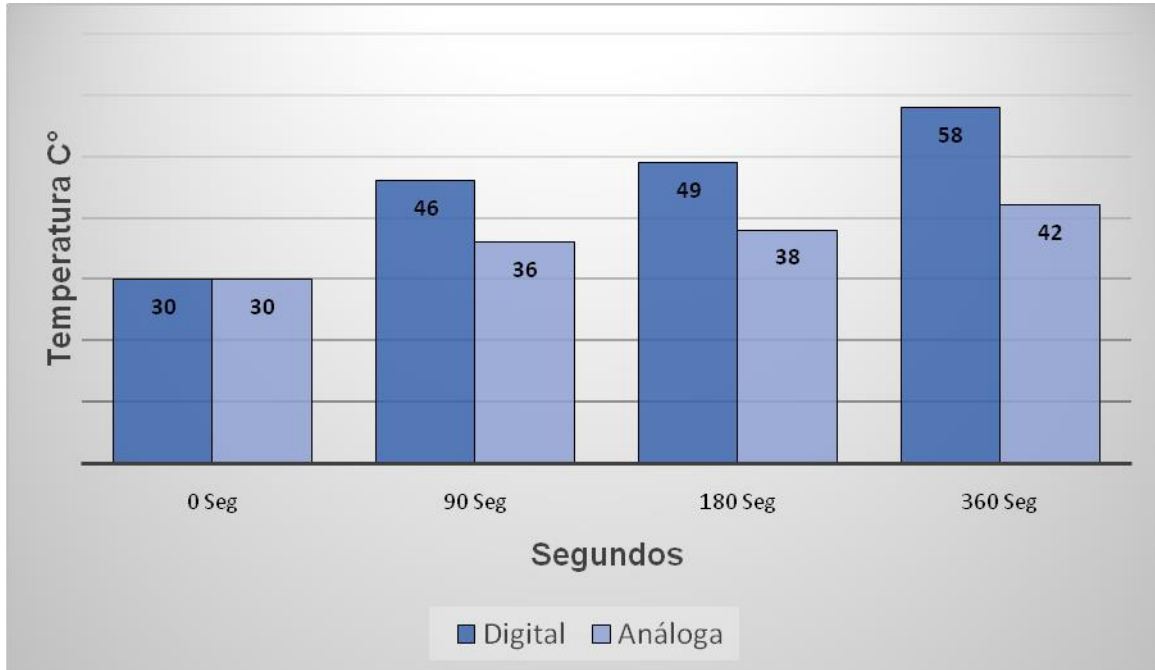
Esta información es recopilada de acuerdo a las pruebas en el banco de convección forzada donde se realizaron diferentes pruebas en cada línea, las cuales dan como resultado los siguientes datos:

Figura 67. Tiempo Vs temperatura entrada



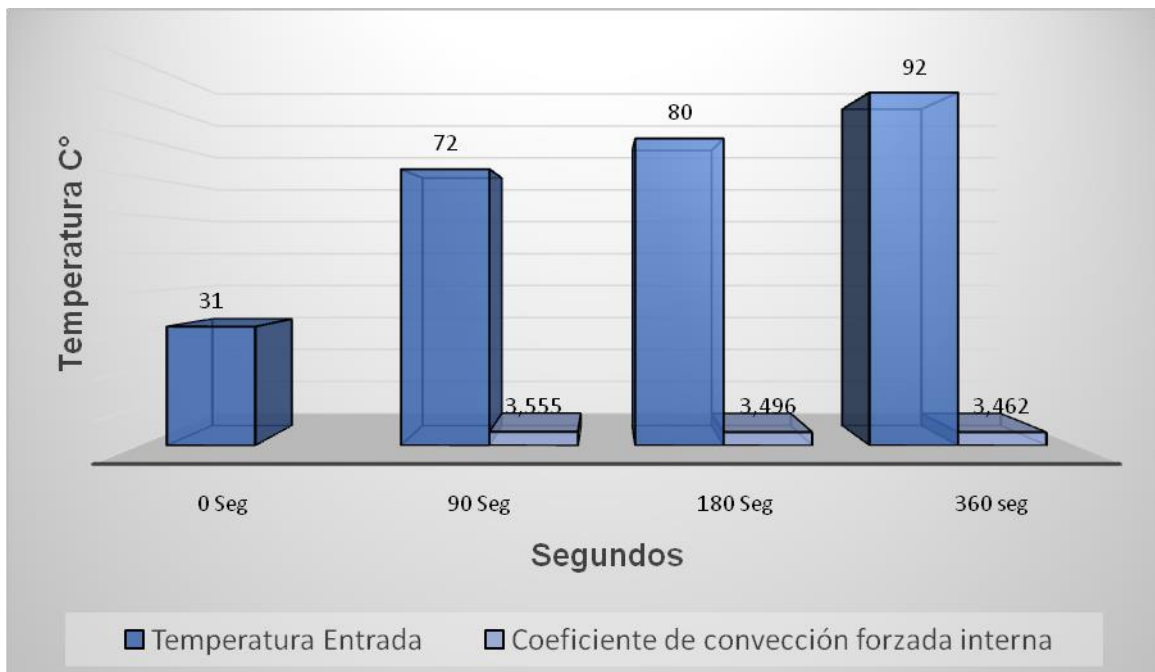
Fuente: Autor

Figura 68. Temperatura digital vs
análoga



Fuente: Autor

Figura 69. Temperatura entrada Vs h_3 Coeficiente de convección forzada



Fuente: Autor
















En la figura 70, se puede observar los cambios en los comportamientos de transferencia, por ejemplo se refleja que cuando el tiempo esta en 0 la temperatura de entrada es de 31 °C, la tempertatura lineal digital es de 30 °C y analoga es de 30 °C. En cambio, cuando el tiempo de presión calcula 1:30 minutos, la temperatura de entrada es de 86 C°, la temperatura digital varia a 50°C y la analoga 42 °C. Todos estos datos recopilados, se exponen en la figura 17 donde se evidencia los cambios realizados en el estudio.

Figura 70. Líneas de transferencia

LINEA 4	PRESION	TIEMPO	T° ENTRADA	T° LINEA		h4
				DIGITAL	ANALOGA	
	12 PSI	0	31 T°	30 C°	30 C°	
		1:30 min	86 C°	50 C°	42 C°	1,994
		3 min	93 C°	53 C°	44 C°	1,969
		6 min	102 C°	60 C°	50 C°	1,956

Fuente: Autor

Figura 71. Evidencia

LINEA 4	PRESION	TIEMPO	IMG.	T° ENTRADA	T° LINEA		h4
					DIGITAL	ANALOGA	
	12 PSI	1:30 min					
	12 PSI	3 min					
	12 PSI	6 min					

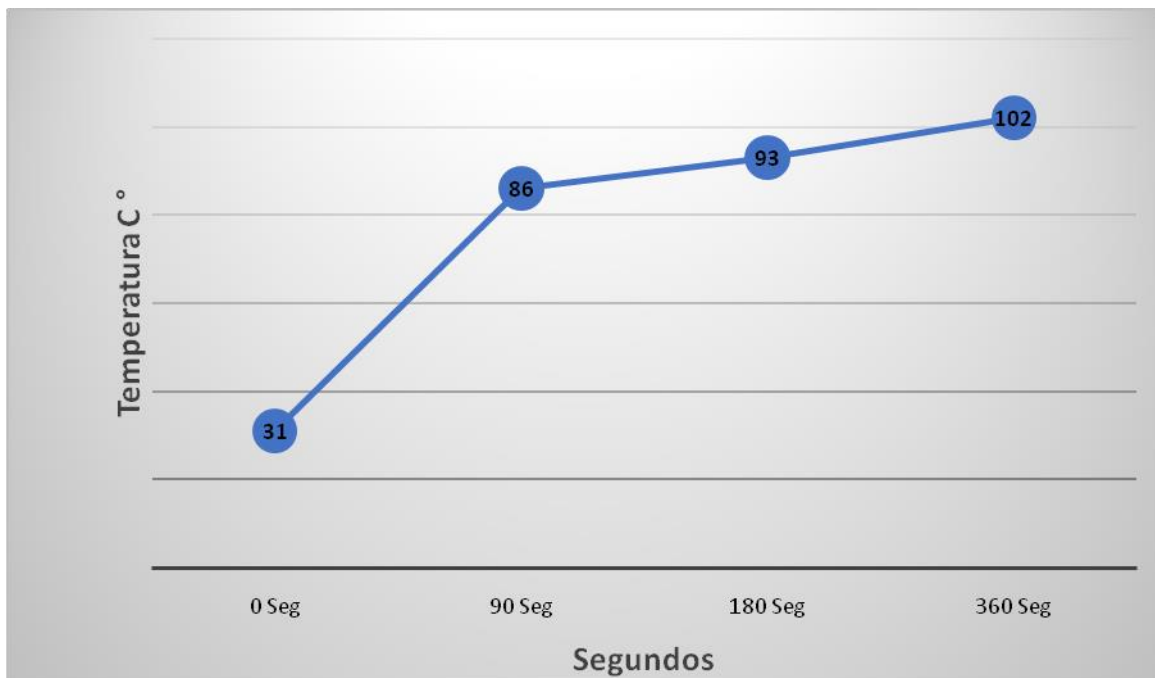
Fuente: Autor

De acuerdo a las variables registradas en el software LABVIEW, se logra evidenciar el comportamiento de las mismas lo cual se registra en las figuras,

donde se grafica los comportamientos de los versus de la línea 4, en el cual se establece que cuando el tiempo va aumentando, se modifica los estados de transferencia, también se observa que a medida que aumenta la temperatura, el H4 Convectiva disminuye.

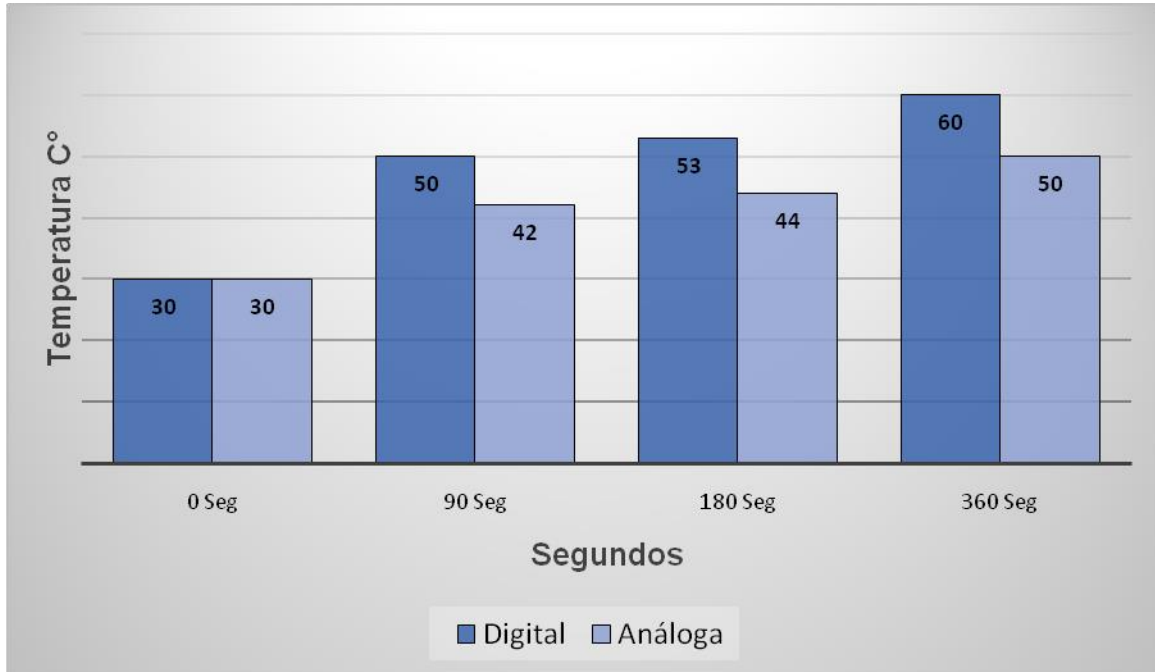
Esta información es recopilada de acuerdo a las pruebas en el banco de convección forzada donde se realizaron diferentes pruebas en cada línea, las cuales dan como resultado los siguientes datos:

Figura 72. Tiempo Vs temperatura entrada



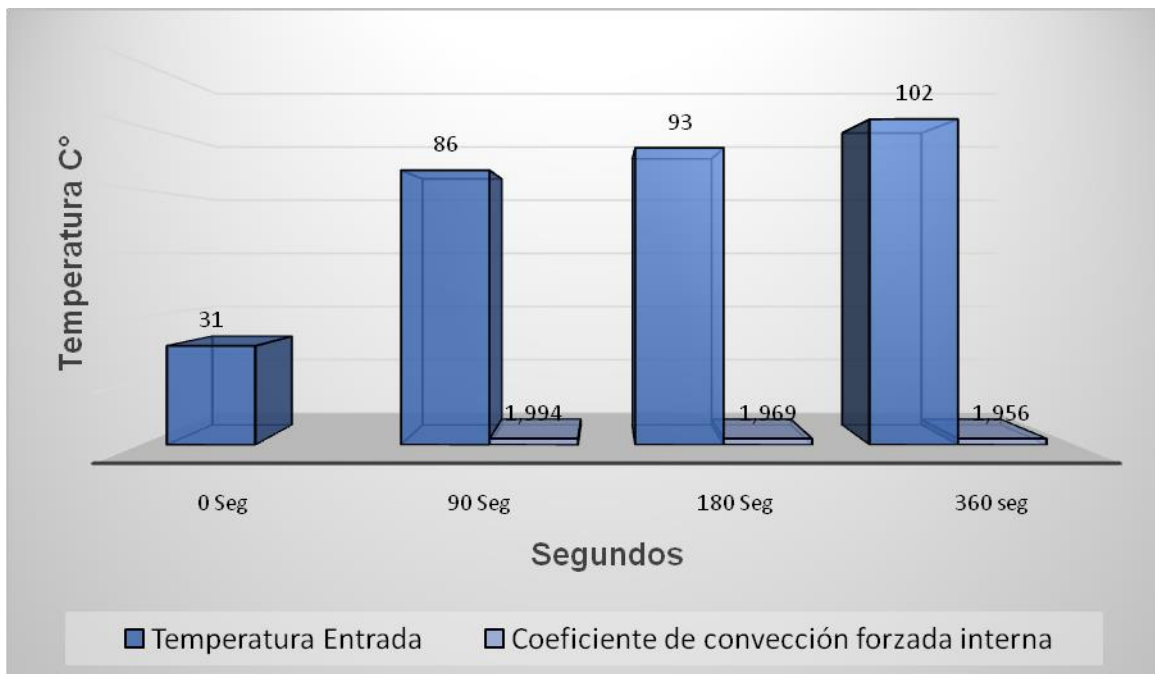
Fuente: Autor

Figura 73. Temperatura digital vs
análoga



Fuente: Autor

Figura 74. Temperatura entrada Vs H4 Coeficiente de convección forzada



Fuente: Autor

3.3.5. Prueba banco de convección forzada descarga de Drum






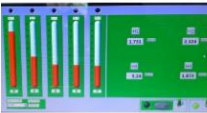

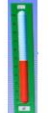







Para calcular el tiempo que demora en destruirse el volumen en cada línea se realiza el siguiente estudio, en la figura 75, se puede observar los cambios en los comportamientos de transferencia, por ejemplo se refleja que cuando el tiempo esta en 0 la temperatura de entrada es de 30 °C, mientras que la digital es de 28 °C y la análoga es de 30 °C. Por otro lado, cuando se incrementa a 1:30 minutos, la temperatura de entrada es de 80 °C , la digital varia a 43°C y la análoga a 36 °C. Todos estos datos recopilados, se exponen en la figura donde se evidencia la variación realizada en el estudio.

Figura 75. Líneas de transferencia

LINEA 1	PRESION	TIEMPO	T° ENTRADA	T° LINEA		h1
				DIGITAL	ANALOGA	
LINEA 1	20 PSI	0	30 T°	28 T°	30T°	
		1:30 min	80 C°	43 C°	36 C°	1,753
		3 min	88 C°	47 C°	38 C°	1,731
		6 min	97 C°	51 C°	42 C°	1,704

Fuente: Autor

Figura 76. Evidencia

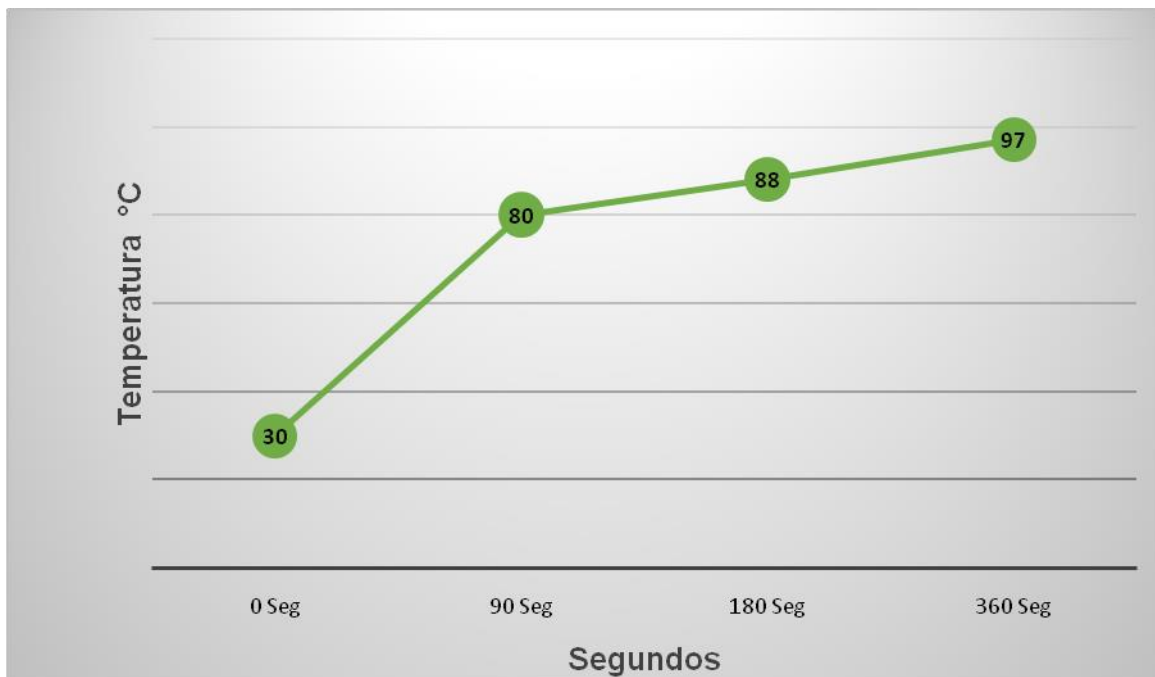
LINEA 1	PRESION	TIEMPO	IMG.	T° ENTRADA	T° LINEA		h1
					DIGITAL	ANALOGA	
LINEA 1	20 PSI	1:30 min					
		3 min					
		6 min					

Fuente: Autor

A partir de lo anterior, en este trabajo se estudia el comportamiento del volumen aplicando las variables en el software LABVIEW, en el cual se registra los resultados en las figuras, donde se grafica el proceder de los versus de la línea 1, permitiendo determinar que cuando el tiempo va aumentando, se modifican los estados del volumen, también se observa que a medida que aumenta la temperatura, el H1 Convectiva disminuye.

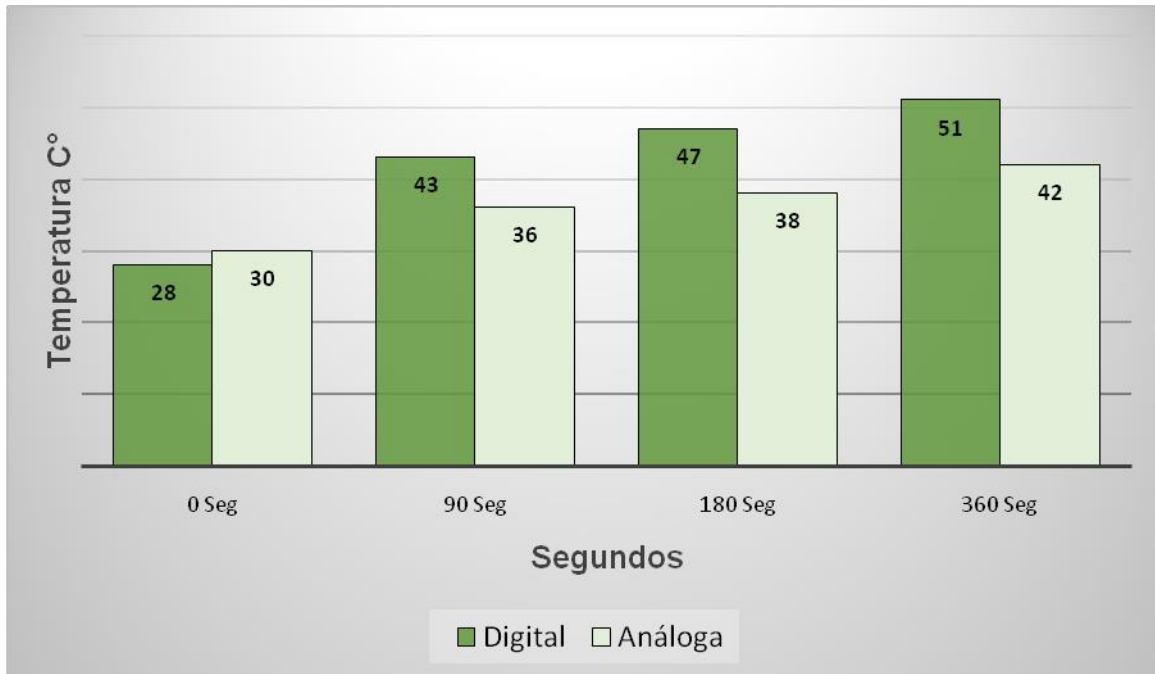
Los datos obtenidos son seleccionados en concordancia a las pruebas en el banco de convección forzada, donde se realizaron diferentes verificaciones en cada línea, las cuales dan como resultado los siguientes datos:

Figura 77. Tiempo Vs temperatura entrada



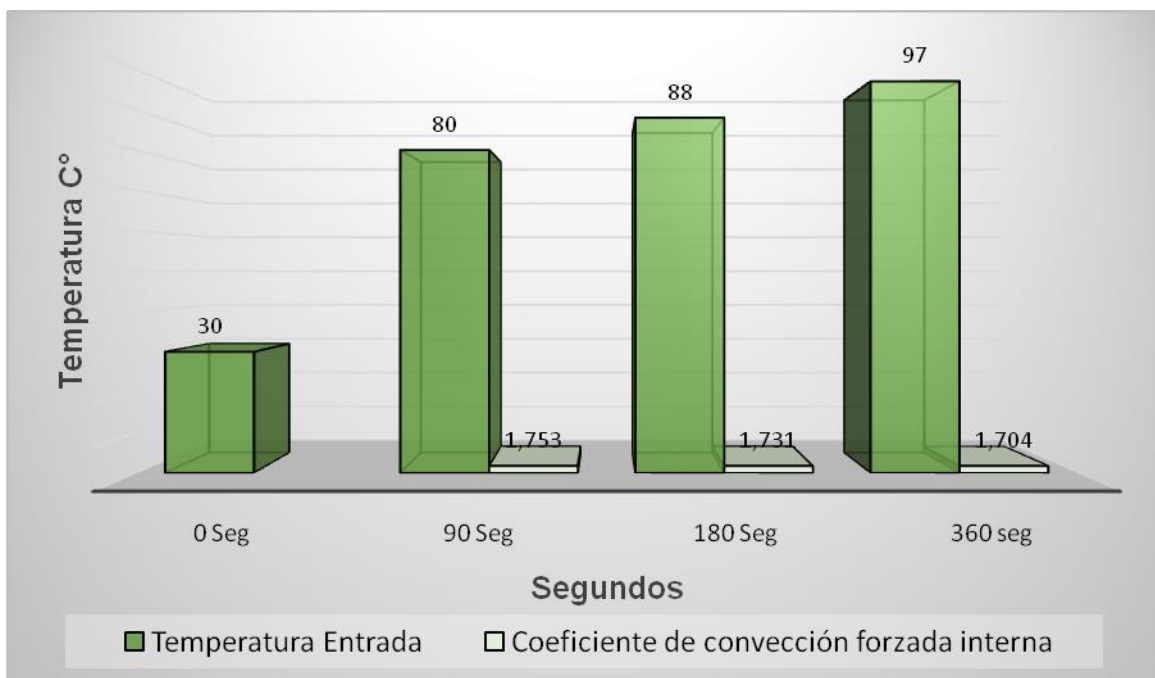
Fuente: Autor

Figura 78. Temperatura digital vs análoga



Fuente: Autor

Figura 79. Temperatura entrada Vs H1 Coeficiente de convección forzada



Fuente: Autor







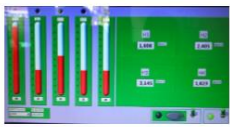



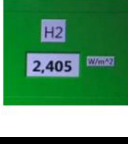
Para calcular el tiempo que demora en destruirse el volumen en cada línea se realiza el siguiente estudio, en la figura 80, se puede observar los cambios en los comportamientos de transferencia, por ejemplo se refleja que cuando el tiempo esta en 0 la temperatura de entrada es de 30 °C, mientras que la digital es de 30 °C y la análoga es de 30 °C. Por otro lado, cuando se incrementa a 1:30 minutos, la temperatura de entrada es de 77 °C , la digital varia a 45°C y la análoga a 36 °C. Todos estos datos recopilados, se exponen en la figura donde se evidencia la variación realizada en el estudio.

Figura 80. Líneas de transferencia

LINEA 2	PRESION	TIEMPO	T° ENTRADA	T° LINEA		h2
				DIGITAL	ANALOGA	
				0	30 T°	
20 PSI	1:30 min	77 C°	45 C°	36 C°	2,491	
	3 min	85 C°	49 C°	38 C°	2,459	
	6 min	98 C°	55 C°	42 C°	2,405	

Fuente: Autor

Figura 81. Evidencia

LINEA 2	PRESION	TIEMPO	IMG.	T° ENTRADA	T° LINEA		h2
					DIGITAL	ANALOGA	
					1:30 min		
3 min							
6 min							

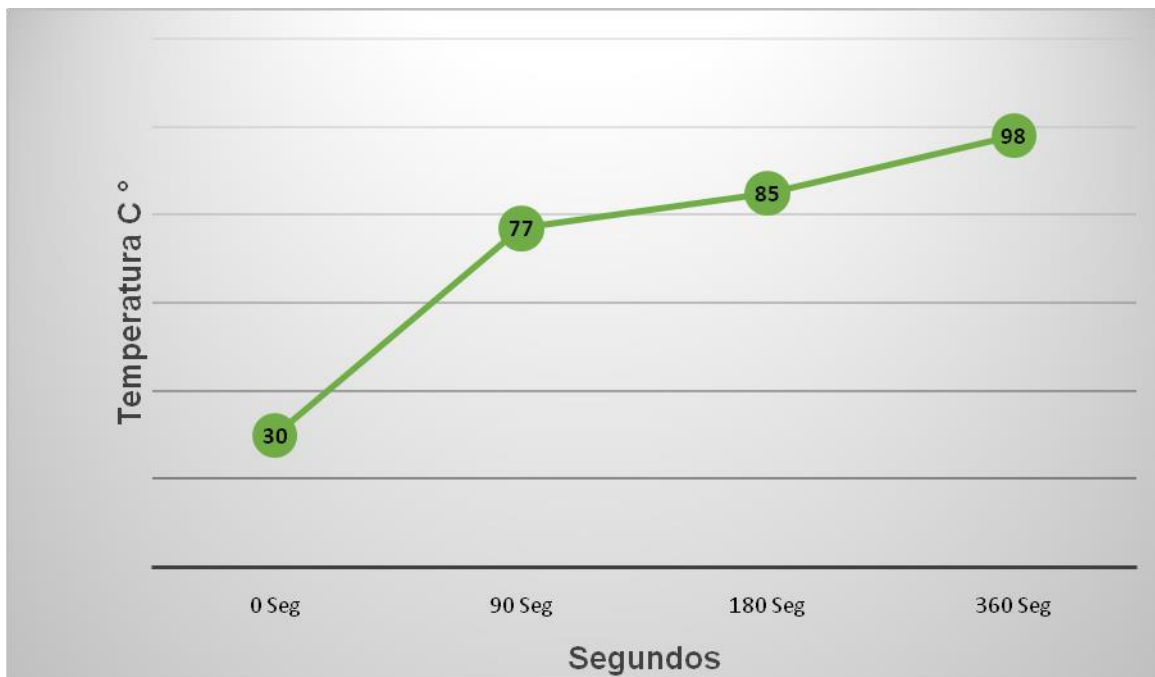
Fuente: Autor

A partir de lo anterior, en este trabajo se estudia el comportamiento del volumen aplicando las variables en el software LABVIEW, en el cual se registra

los resultados en las figuras, donde se grafica el proceder de los versus de la línea 2, permitiendo determinar que cuando el tiempo va aumentando, se modifican los estados del volumen, también se observa que a medida que aumenta la temperatura, el H2 Convectiva disminuye.

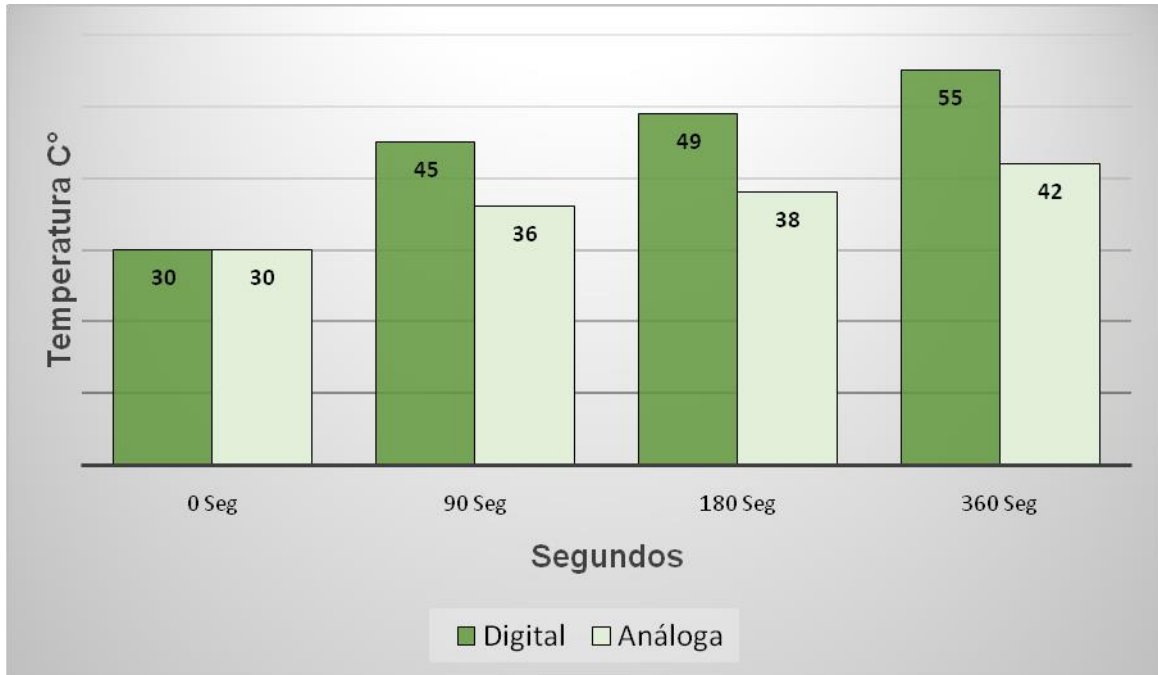
Los datos obtenidos son seleccionados en concordancia a las pruebas en el banco de convección forzada, donde se realizaron diferentes verificaciones en cada línea, las cuales dan como resultado los siguientes datos:

Figura 82. Tiempo Vs temperatura entrada



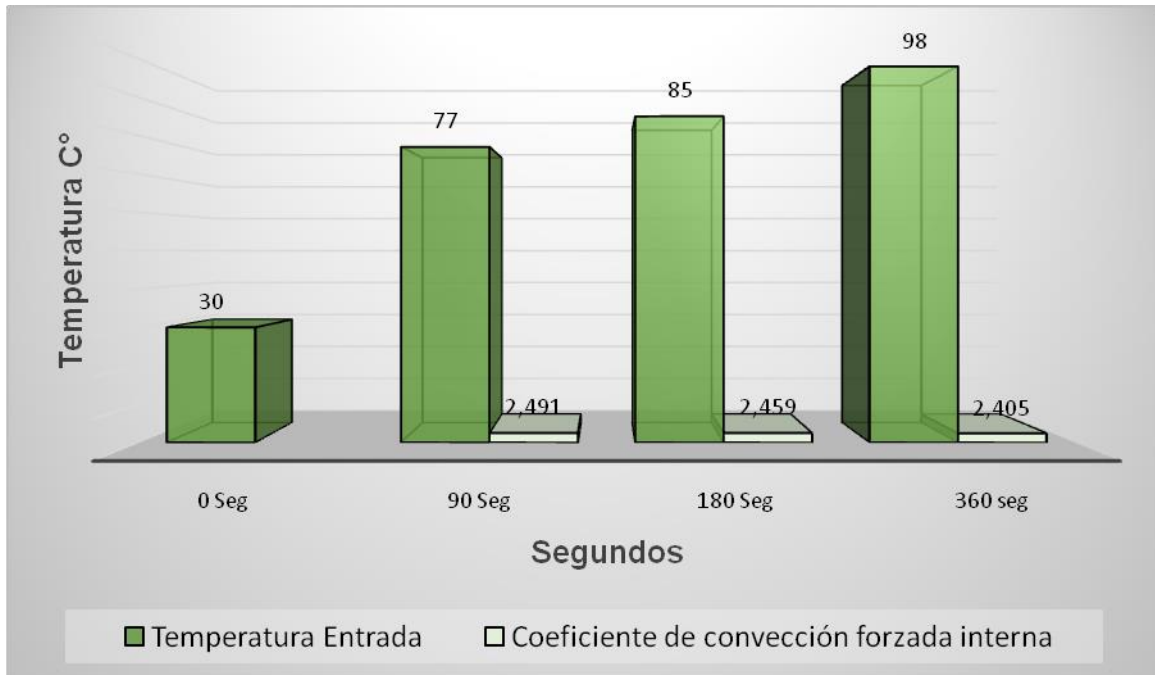
Fuente: Autor

Figura 83. Temperatura digital vs análoga



Fuente: Autor

Figura 84. Temperatura entrada Vs H2 Coeficiente de convección forzada



Fuente: Autor

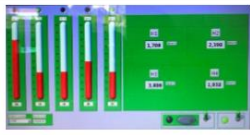








Para calcular el tiempo que demora en destruirse el volumen en cada línea se realiza el siguiente estudio, en la figura, se puede observar los cambios en los comportamientos de transferencia, por ejemplo se refleja que cuando el tiempo esta en 0 la temperatura de entrada es de 31 °C, mientras que la digital es de 30 °C y la análoga es de 30 °C. Por otro lado, cuando se incrementa a 1:30 minutos, la temperatura de entrada es de 72 °C , la digital varia a 46°C y la análoga a 36 °C. Todos estos datos recopilados, se exponen en la figura donde se evidencia la variación realizada en el estudio.

Figura 85. Líneas de transferencia

LINEA 3	PRESION	TIEMPO	T° ENTRADA	T° LINEA		h3
				DIGITAL	ANALOGA	
				22 PSI	0	
	1:30 min	72 C°	46 C°	36 C°	3,555	
	3 min	80 C°	49 C°	38 C°	3,496	
	6 min	92 C°	58 C°	42 C°	3,462	

Fuente: Autor

Figura 86. Evidencia

LINEA 3	PRESION	TIEMPO	IMG.	T° ENTRADA	T° LINEA		h3
					DIGITAL	ANALOGA	
					22 PSI	1:30 min	
	3 min						
	6 min						

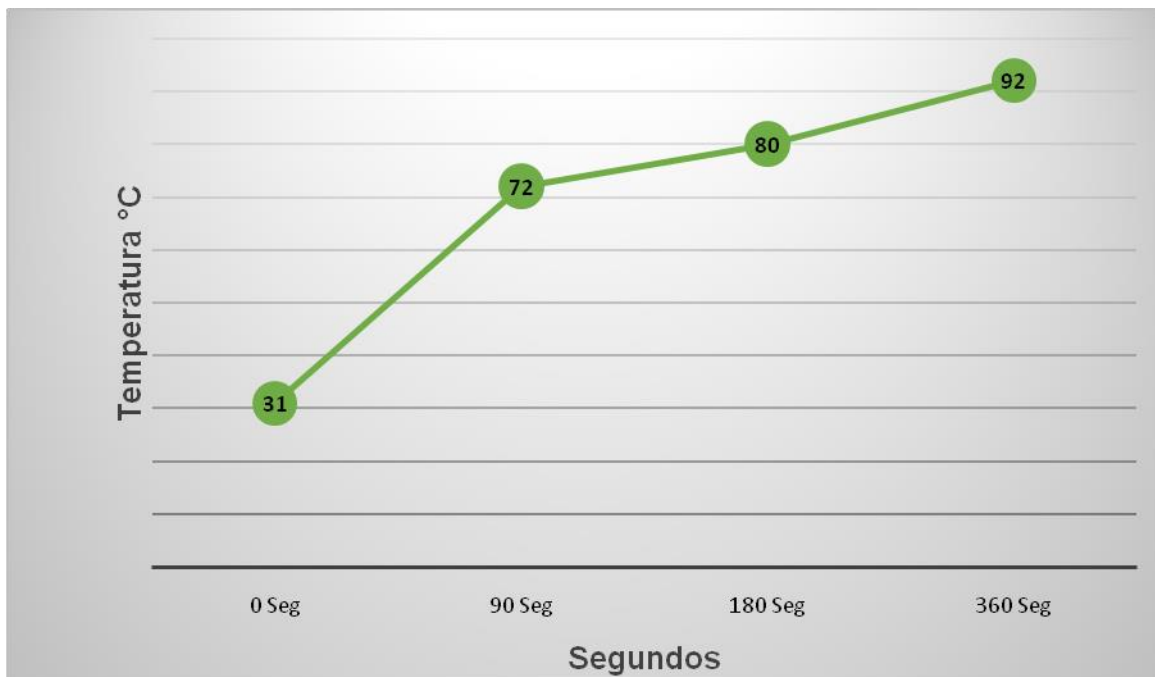
Fuente: Autor

A partir de lo anterior, en este trabajo se estudia el comportamiento del volumen aplicando las variables en el software LABVIEW, en el cual se registra

los resultados en las figuras, donde se grafica el proceder de los versus de la línea 3, permitiendo determinar que cuando el tiempo va aumentando, se modifican los estados del volumen, también se observa que a medida que aumenta la temperatura, el H3 Convectiva disminuye.

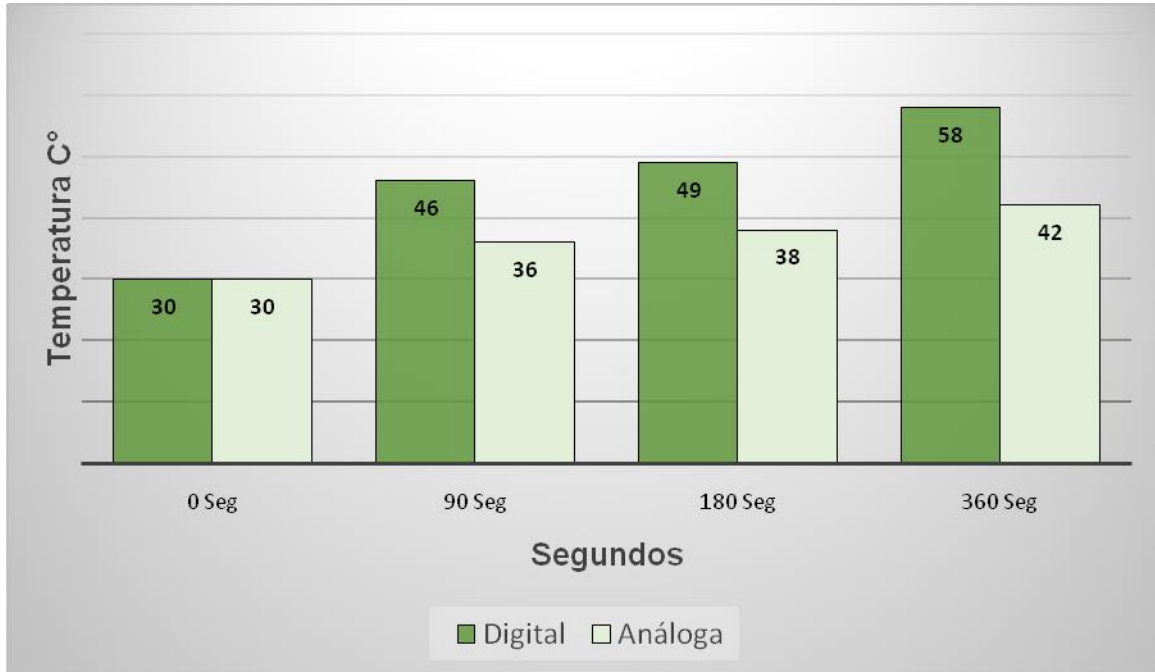
Los datos obtenidos son seleccionados en concordancia a las pruebas en el banco de convección forzada, donde se realizaron diferentes verificaciones en cada línea, las cuales dan como resultado los siguientes datos:

Figura 87. Tiempo Vs temperatura entrada



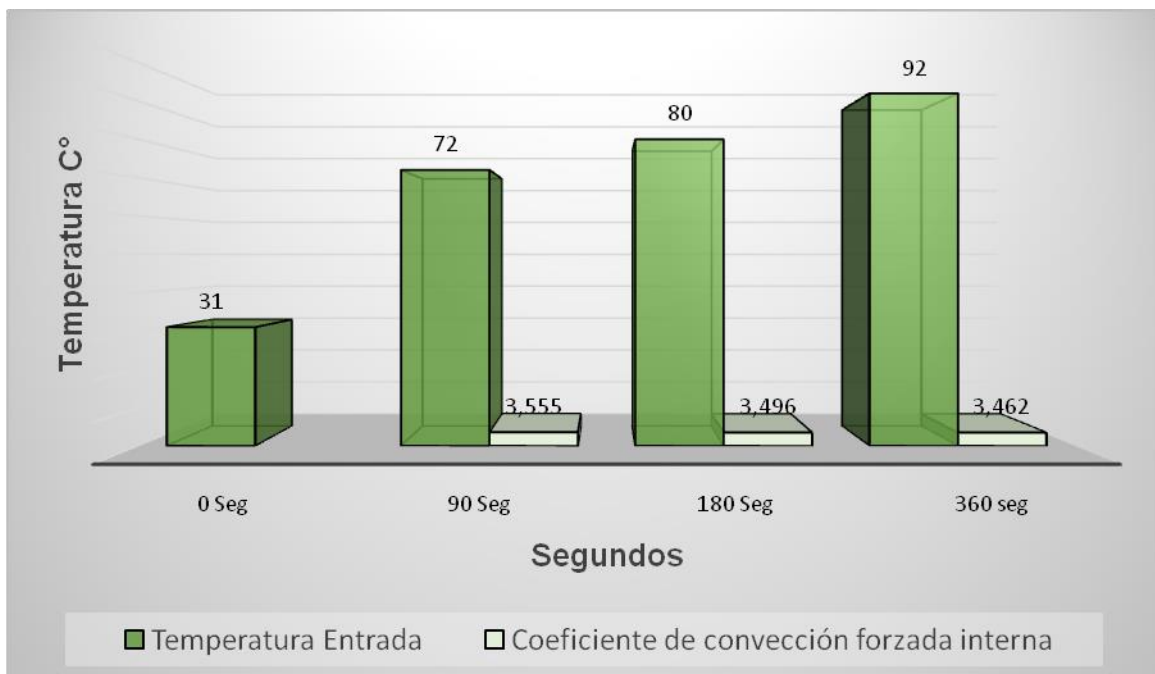
Fuente: Autor

**Figura 88. Temperatura digital vs
análoga**



Fuente: Autor

Figura 89. Temperatura entrada Vs H3 Coeficiente de convección forzada



Fuente: Autor

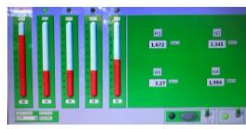




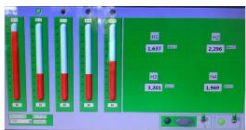





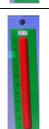

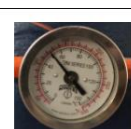
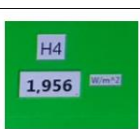
Para calcular el tiempo que demora en destruirse el volumen en cada línea se realiza el siguiente estudio, en la figura, se puede observar los cambios en los comportamientos de transferencia, por ejemplo se refleja que cuando el tiempo esta en 0 la temperatura de entrada es de 31 °C, mientras que la digital es de 30 °C y la análoga es de 30 °C. Por otro lado, cuando se incrementa a 1:30 minutos, la temperatura de entrada es de 86 °C , la digital varia a 50°C y la análoga a 42 °C. Todos estos datos recopilados, se exponen en la figura donde se evidencia la variación realizada en el estudio.

Figura 90. Líneas de transferencia

LINEA 4	PRESION	TIEMPO	T° ENTRADA	T° LINEA		h4
				DIGITAL	ANALOGA	
LINEA 4	12 PSI	0	31 T°	30 C°	30 C°	
		1:30 min	86 C°	50 C°	42 C°	1,994
		3 min	93 C°	53 C°	44 C°	1,969
		6 min	102 C°	60 C°	50 C°	1,956

Fuente: Autor

Figura 91. Evidencia

LINEA 4	PRESION	TIEMPO	IMG.	T° ENTRADA	T° LINEA		h4
					DIGITAL	ANALOGA	
LINEA 4	12 PSI	1:30 min					
		3 min					
		6 min					

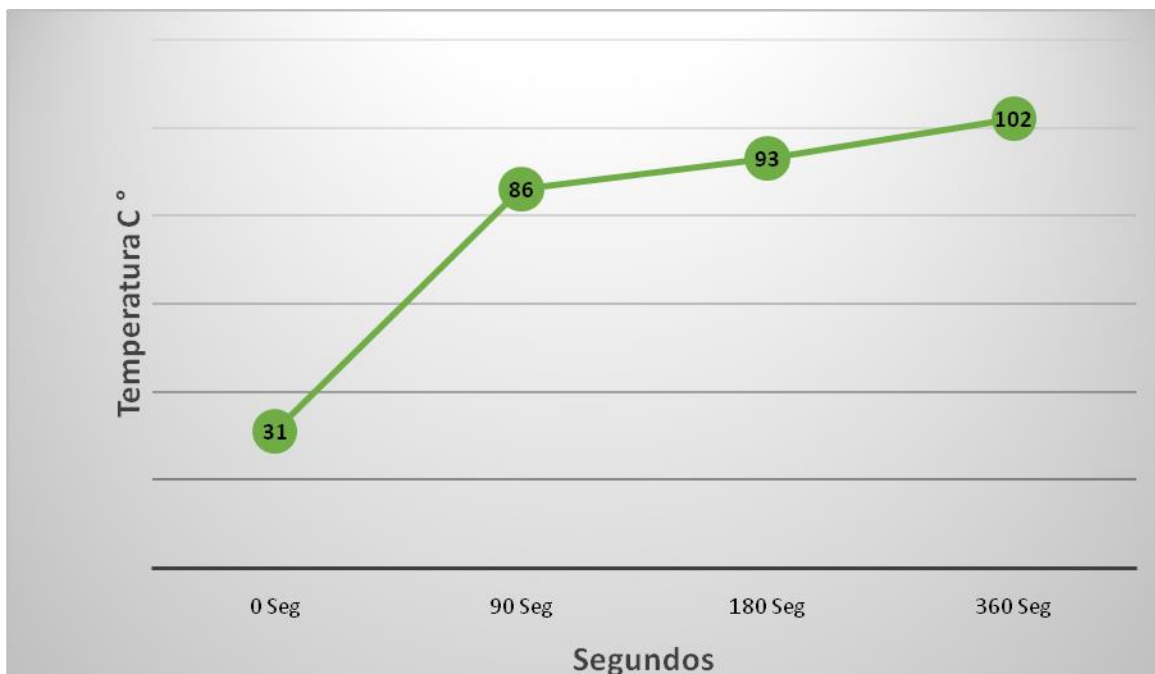
Fuente: Autor

A partir de lo anterior, en este trabajo se estudia el comportamiento del volumen aplicando las variables en el software LABVIEW, en el cual se registra los resultados en las figuras, donde se grafica el proceder de los versus de la

línea 4, permitiendo determinar que cuando el tiempo va aumentando, se modifican los estados del volumen, también se observa que a medida que aumenta la temperatura, [el \$h_4\$ convectiva disminuye](#).

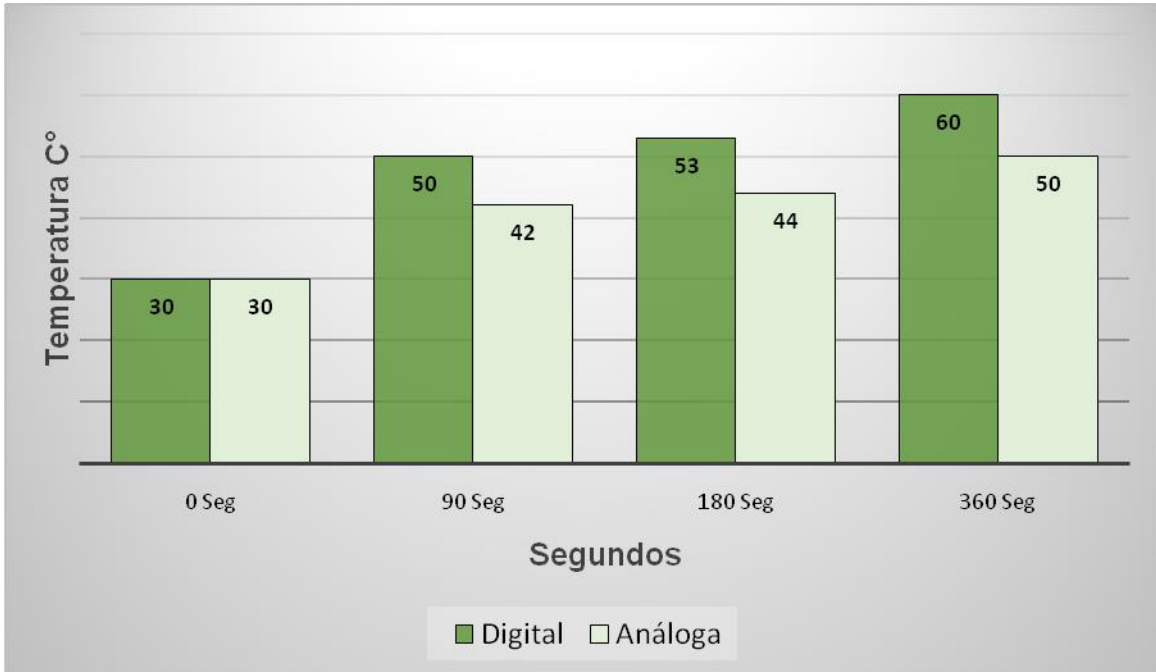
Los datos obtenidos son seleccionados en concordancia a las pruebas en el banco de convección forzada, donde se realizaron diferentes verificaciones en cada línea, las cuales dan como resultado los siguientes datos:

Figura 92. Tiempo Vs temperatura entrada



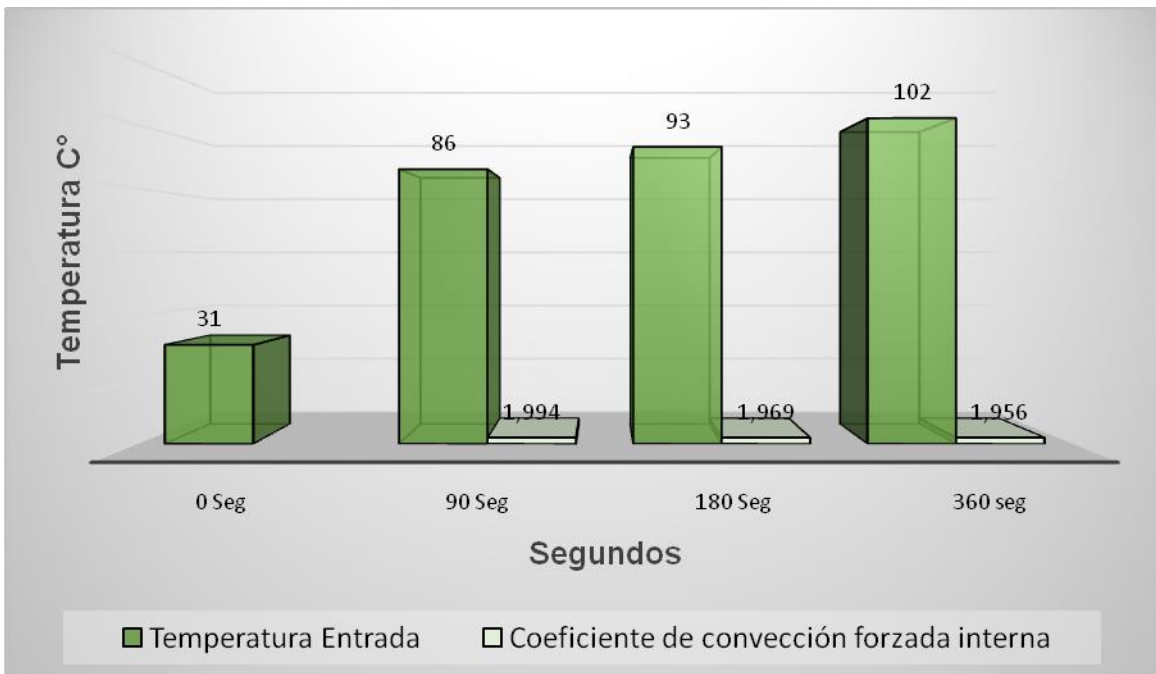
Fuente: Autor

Figura 93. Temperatura digital vs
análoga



Fuente: Autor

Figura 94. Temperatura entrada Vs h_4 Coeficiente de convección forzada



Fuente: Autor




3.4. ELABORAR GUÍAS OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DEL BANCO DE PRUEBAS PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN FORZADA INTERNA.



El desarrollo del proyecto investigativo que plantea el diseño y la construcción de un banco de pruebas de transferencia de calor por convección forzada interna, planteo la elaboración de tres guías prácticas de laboratorio que se utilizarán para hacer diferentes tipos de pruebas en el equipo buscando a través de distintas actividades afianzar los conocimientos adquiridos en la determinación de variables definidas en el concepto básico de transferencia de calor, tema en el cual se aplican varias leyes de la termodinámica necesaria para la comprensión de los ejercicios que se desarrollarán en el dispositivo para calcular las tasas de transferencia de flujo de calor y poder observar los métodos de enfriamiento o calentamiento en dispositivos que comúnmente se dan en proceso unitarios en los procesos industriales.

Una vez ensamblado el equipo, se procede a identificar el proceso y las variables que se definirán a calcular. Por tal motivo es necesaria la calibración del equipo bajo las indicaciones y aseguramiento de las conexiones eléctricas y que todos los dispositivos como el compresor, tubería, indicadores de presión y temperatura que conforman el banco se encuentren bien conectados y en perfecto funcionamiento, así mismo que no esté obstruida la tubería de flujo de aire y que no presente fuga.

Luego de la previa identificación de las partes del banco de pruebas de transferencia de calor por convección forzada interna se procede a la realización de las siguientes prácticas que a continuación serán descritas en las guías de laboratorio presentes en este documento.

Tabla 9. Practica identificación de equipos

UNIDAD ACADÉMICA: FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIAS	
ASIGNATURA:	
UNIDAD TEMÁTICA	
PRACTICA NO. 00	Identificación de equipos
ACTIVIDADES ANTES DE CLASE	
<ul style="list-style-type: none"> Identificar los componentes y dispositivos presentes en el banco de pruebas de transferencia de calor por convección forzada interna con los cuales se trabajaran en las prácticas., teniendo en cuenta la identificación, nombre técnico, marca referencia, características físicas, propiedades físicas, variables de medición y funcionamiento. 	
ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE	
Compresor 1.5 HP	
	Un compresor es una máquina de fluido que está construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tales como gases y vapores.
Resistencia 1000 W	
	Una resistencia es un dispositivo que convierte una señal electrica en calor util para elevar la temperatura de sustancias liquidas, gaseosas o superficies solidas
Indicador de temperatura 0 – 150 °C	
	Permite observar la temperatura en un visualizador estos tienen la capacidad de percibir las variaciones de temperatura de manera lineal
Manometro 0 – 100 psi	
	Permite observar la presión que circula en cada tramo de la tubería.

Valvula de Bola (1in, ¾ in, ½ in, 3/8 in)	
	Es un mecanismo de llave de paso que sirve para regular el flujo de un fluido canalizado y se caracteriza por tener un mecanismo esférico en el interior para permitir el paso o restricción de fluido.
Tee	
	Es un componente empleado para el acompañamiento en la unión o conexión de tubería por las cuales circula un fluido.

Fuente: Autor

3.4.1. Procedimiento para encendido, operación y apagado del banco de pruebas

Objetivo

Establecer un procedimiento específico que determine los pasos adecuados para la correcta operación en la ejecución de las pruebas a realizar en el banco de convección forzada interna.

Objetivos generales

1. Determinar abreviatura de los competentes instalados.
2. Expresar las posibles pruebas a realizar en el banco de convección forzada.
3. Enumerar cada paso para la correcta ejecución de cada prueba

Desarrollo

1. Abreviatura de los distintos componentes.

Componente	Abreviatura
Unidad de compresión	Comp
Válvula tipo bola de control de presión	PCV
Válvula tipo bola de control de presión en compresor	PCV-Comp
Válvula tipo bola de control de presión en resistencia entrada	PCV-Re
Válvula tipo bola de control de presión en resistencia salida	PCV-Rs
Resistencia	R
Computador	PC
Válvula tipo bola de control de presión	PCV-1

línea 1	
Válvula tipo bola de control de presión línea 1 en salida	PCV-1s
Válvula tipo bola de control de presión línea 2	PCV-2
Válvula tipo bola de control de presión línea 2 en salida	PCV-2s
Válvula tipo bola de control de presión línea 3	PCV-3
Válvula tipo bola de control de presión línea 3 en salida	PCV-3s
Válvula tipo bola de control de presión línea 4	PCV-4
Válvula tipo bola de control de presión línea 4 en salida	PCV-4s
Válvula tipo bola de control de presión final.	PCV-f
Indicador de presión análogo	PI a
Indicador de presión análogo en compresor	PI a-Comp
Indicador de presión análogo en línea 1	PI a-1
Indicador de presión análogo en línea 2	PI a-2
Indicador de presión análogo en línea 3	PI a-3
Indicador de presión análogo en línea 4	PI a-4
Indicador de temperatura análogo en resistencia	T1a-R
Indicador de temperatura análogo en línea 1	T1a-1
Indicador de temperatura análogo en línea 2	T1a-2
Indicador de temperatura análogo en línea 3	T1a-3
Indicador de temperatura análogo en línea 4	T1a-4

Indicador de temperatura digital	TId
----------------------------------	-----

Fuente: Autor

2. Pruebas a realizar en el banco.

- Tiempo de carga de presión en el calderín del compresor
- Tiempo de aumento de temperatura en resistencia.
- Variación de temperatura análoga y digital de cada línea con respecto al tiempo.
- Tiempo de descarga de presión en cada línea

3. Paso a paso para cada prueba.

➤ Prueba de tiempo de carga de presión en el calderín del compresor: Para la ejecución de esta prueba se debe tener en cuenta los siguientes pasos.

1. Asegurar que la PCV-Comp se encuentre cerrada.
2. Energizar la unidad compresora.
3. Una vez de inicio la carga de presión, tomar tiempo por medio de un cronometro.
4. Visualizar el PI-Comp contantemente hasta el reposo de la unidad compresora.
5. En el momento de pare de la unidad compresora detener el tiempo.
6. Registrar en tabla de datos.

➤ Prueba de tiempo de aumento de temperatura en resistencia: Para la ejecución de dicha prueba, la cual tiene como finalidad, calentar el aire comprimido que se encuentra dentro del calderín, donde está alojada la resistencia, teniendo en cuenta esto se realiza los siguientes pasos.

1. Energizar la unidad compresora.
2. Abrir PCV-Comp permitiendo el flujo de aire.
3. Abrir PCV-Re permitiendo la entra de aire en el calderín.

4. Cerrar o asegurarse del cierre de PCV-Rs para evitar el flujo de aire en este punto.
 5. Una vez completada la carga de presión en el calderín, se energiza la resistencia.
 6. En el momento de energizar la R se toma el tiempo por medio del cronometro.
 7. se visualiza el T_{la-R}.
 8. Una vez el T_{la-R} indique 140 C° se des energizá la resistencia y se detiene el cronometro.
 9. Se registra esto en la tabla de datos.
- Prueba de variación de temperatura análoga y digital de cada línea con respecto al tiempo: En la ejecución de esta prueba se deben tener en cuenta los siguientes pasos.
1. Inicialmente se debe encender el PC dispuesto en el banco.
 2. Ejecutar el programa de visualización de temperatura digital.
 3. Conectar por medio de cable de conexión USB el PC a la tarjeta de programación.
 4. Dar inicio al software de visualización, comprobando la señal de datos. (se debe evidenciar la ligera oscilación en las barras de temperatura de cada línea, por lo general el primer registro es el de la temperatura ambiente).
 5. Posteriormente se continua con los pasos de la prueba de tiempo de aumento de temperatura en resistencia.
 6. Asegurar el correcto cierre de las PCV en cada línea.
 7. Una vez realizado los anteriores pasos, se procede a hacer la medición en cada línea teniendo en cuenta las siguientes pautas:

(Ejemplo en línea 1)

- Apertura al 100% de la PCV-1

- Apertura al 100% de la PCV-1s
- Visualización de PI a-1.

- Apertura al 30% de la PCV-f
- En el momento de la apertura de la PCV-f, se toma la medición de temperatura en tres instantes de tiempo; 1:30 min, 3 min y 6 min.
- Luego de esto se procede a cerrar la PCV-f.
- Seguidamente se da cierre a PCV-1. (con el fin de mantener la presión en la línea 1)
- Visualización de PI a-1.
- Estos resultados se registran en la tabla de datos.
- Se procede a realizar el paso 5 hasta alcanzar la temperatura de trabajo.

(Ejemplo en línea 2)

- Apertura al 100% de la PCV-2
- Apertura al 100% de la PCV-2s
- Visualización de PI a-2.
- Apertura al 30% de la PCV-f
- En el momento de la apertura de la PCV-f, se toma la medición de temperatura en tres instantes de tiempo; 1:30 min, 3 min y 6 min.
- Luego de esto se procede a cerrar la PCV-f.
- Seguidamente se da cierre a PCV-2. (con el fin de mantener la presión en la línea 1)
- Visualización de PI a-2.
- Estos resultados se registran en la tabla de datos.
- Se procede a realizar el paso 5 hasta alcanzar la temperatura de trabajo.

(Ejemplo en línea 3)

- Apertura al 100% de la PCV-3

- Apertura al 100% de la PCV-3s
- Visualización de PI a-3.

- Apertura al 30% de la PCV-f
- En el momento de la apertura de la PCV-f, se toma la medición de temperatura en tres instantes de tiempo; 1:30 min, 3 min y 6 min.
- Luego de esto se procede a cerrar la PCV-f.
- Seguidamente se da cierre a PCV-3. (con el fin de mantener la presión en la línea 1)
- Visualización de PI a-3.
- Estos resultados se registran en la tabla de datos.
- Se procede a realizar el paso 5 hasta alcanzar la temperatura de trabajo.

(Ejemplo en línea 4)

- Apertura al 100% de la PCV-4
- Apertura al 100% de la PCV-4s
- Visualización de PI a-4.
- Apertura al 30% de la PCV-f
- En el momento de la apertura de la PCV-f, se toma la medición de temperatura en tres instantes de tiempo; 1:30 min, 3 min y 6 min.
- Luego de esto se procede a cerrar la PCV-f.
- Seguidamente se da cierre a PCV-4. (con el fin de mantener la presión en la línea 1)
- Visualización de PI a-4.
- Estos resultados se registran en la tabla de datos.
- Se procede a realizar el paso 5, hasta alcanzar la temperatura de trabajo.

8. Habiendo realizado esta prueba en cada línea, se procede a la verificación de cierre de todas las PCV en el sistema.

9. Se desconecta la resistencia y de la unidad compresora.

10. Se comprueba el registro de la información en las tablas de datos.

➤ Prueba tiempo de descarga de presión en cada línea: En la ejecución de esta prueba es necesario seguir los siguientes pasos.

1. Inicialmente se siguen los pasos de la prueba de tiempo de carga de presión en el calderín del compresor.
2. Una vez tenga su carga de presión de trabajo (120 PSI) Se verifica el correcto cierre de las PCV en las líneas.
3. Se cierra la PCV-Re.
4. Esta prueba se realiza en cada línea individual de la siguiente forma:

(Ejemplo línea 1)

- Se le da apertura al 100% de PCV-1.
- Se le da apertura al 100% de PCV-1s.
- En el momento de darle apertura al 100% de PCV-f se debe tomar el tiempo hasta su completo descargue de presión mostrado en PI-R.
- Posteriormente se registra este tiempo en la tabla de datos.
- Luego de esto se cierran las PCV para normalizar la presión del sistema.

(Ejemplo línea 2)

- Se le da apertura al 100% de PCV-2.
- Se le da apertura al 100% de PCV-2s.
- En el momento de darle apertura al 100% de PCV-f se debe tomar el tiempo hasta su completo descargue de presión mostrado en PI-R.
- Posteriormente se registra este tiempo en la tabla de datos.
- Luego de esto se cierran las PCV para normalizar la presión del sistema.

(Ejemplo línea 3)

- Se le da apertura al 100% de PCV-3.
- Se le da apertura al 100% de PCV-3s.
- En el momento de darle apertura al 100% de PCV-f se debe tomar el tiempo hasta su completo descargue de presión mostrado en PI-R.
- Posteriormente se registra este tiempo en la tabla de datos.
- Luego de esto se cierran las PCV para normalizar la presión del sistema.

(Ejemplo línea 4)

- Se le da apertura al 100% de PCV-4.
- Se le da apertura al 100% de PCV-4s.
- En el momento de darle apertura al 100% de PCV-f se debe tomar el tiempo hasta su completo descargue de presión mostrado en PI-R.
- Posteriormente se registra este tiempo en la tabla de datos.
- Luego de esto se cierran las PCV para normalizar la presión del sistema.

5. Seguidamente se realiza el paso cuatro en dos repeticiones con su respectiva toma de datos.

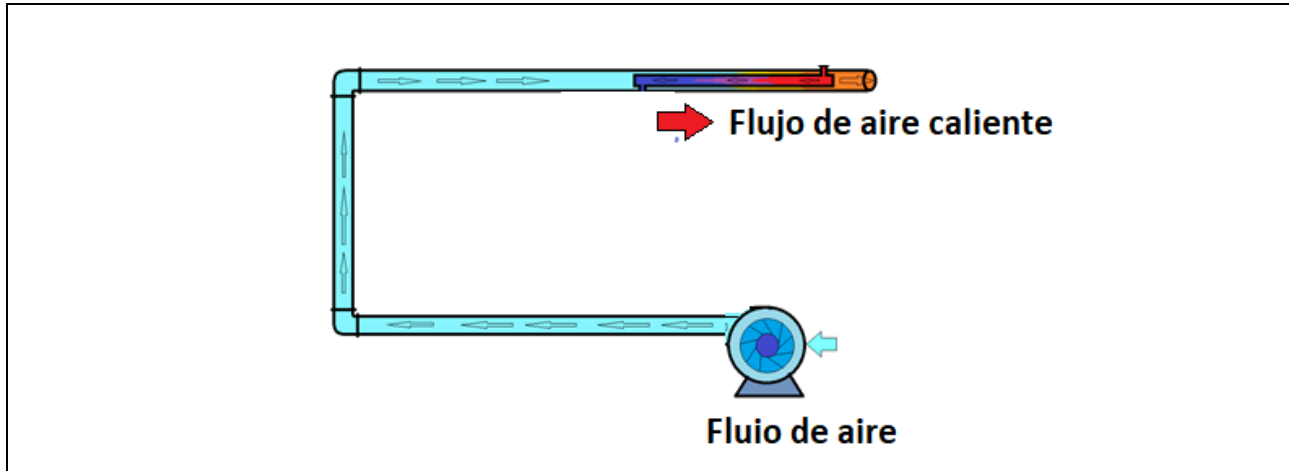
6. Al finalizar se desenergiza la unidad compresora.

Tabla 10. Determinación de presiones estáticas

UNIDAD ACADÉMICA: FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIAS	
ASIGNATURA:	
UNIDAD TEMÁTICA	
PRACTICA NO. 01	Determinación de presiones estáticas

COMPETENCIA	RESULTADOS DEL APRENDIZAJE
<ul style="list-style-type: none"> Identificación de los equipos y puesta en marcha del ciclo operativo del banco Reconocer los componentes y su funcionamiento en condiciones específicas que se deben establecer con mediciones y cálculos de variables implícitas en el equipo de convección forzada. 	<p>Los estudiantes estarán en capacidad de: operar el equipo de convección forzada y determinar caídas de presión por lectura de un manómetro de presión dinámica, además determinar el caudal, la velocidad y el tipo de régimen de flujo que pasa a través de la tubería principal, reconociendo las especificaciones de diseño y funcionamiento de la turbina centrífuga de aire.</p>

ACTIVIDADES ANTES DE CLASE
<ul style="list-style-type: none"> Como actividad previa al montaje, reconocer cada elemento y equipo tanto como el funcionamiento del banco de pruebas de convección forzada interna, se debe comprender el principio de funcionamiento de cada uno, su correspondiente símbolo e identificar cada uno de sus pines. Luego, identificar el funcionamiento del equipo operando en conjunto para determinar los indicadores de presión y temperatura y empezar la calibración del equipo Pruebe que cada elemento esté en condiciones óptimas, sin obstrucciones, limpios, que no se presentes derrames o fugas y sus conexiones debidamente protegidas para su funcionamiento. Analice y tenga en cuenta las ecuaciones necesarias para la determinación de las variables después de haber tomado mediciones Aplicar los conocimientos obtenidos de fenómenos de transporte y termodinámica en balances de masa, ecuación de continuidad, Número de Reynolds, régimen de flujo y presiones estáticas dinámicas para la determinación del flujo volumétrico y velocidad que corre a través de las tuberías del banco de convección forzada.



MATERIALES Y EQUIPOS

- Compresor 1.5 Hp
- Manómetro de Presión Dinámica
- Tubería
- Indicadores de temperatura
- Resistencia 1000 W
- Válvula de Bola

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

1. Inspeccionar el montaje del equipo e inicie su funcionamiento
2. Verifique que todos los elementos estén correctamente conectados
3. Anote todas las mediciones reflejadas en los indicadores de presión y temperatura
4. Formule y plantee las ecuaciones a utilizar
5. Determine las variables pedidas en la practica

EVALUACIÓN

Responda las siguientes preguntas de acuerdo a las pruebas a realizar

1. ¿Cuál fue el Resultado obtenido por el balance de masa y la ecuación de continuidad?
2. ¿A qué velocidad fluye el aire en cada tramo de la tubería cuando la Válvula de globo se encuentra abierta al 25%, 50%, 75% y 100%?
3. Determine el Numero de Reynolds a indique que tipo de flujo es el aire en las tuberías con apertura de válvulas de paso de flujo al 25%, 50% y 100% y compare resultados justificando si hay cambio de régimen de flujo al variar la velocidad de las corrientes.
4. Calcule la diferencia de presión dinámica en el conducto de aire y el diferencial de presión y diga si existen caídas de presión en el sistema.

Fuente: Autor

Tabla 11. Balance de energía termodinámico

UNIDAD ACADÉMICA: FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIAS	
ASIGNATURA:	
UNIDAD TEMÁTICA	
PRACTICA NO. 02	Balance de Energía Termodinámico

COMPETENCIA	RESULTADOS DEL APRENDIZAJE
<ul style="list-style-type: none"> Reconocer las distintas leyes Físicas y Termodinámicas aplicadas en el proceso de operación del banco de Convección Forzada interna al momento de realizar la transferencia de calor Aplicar las ecuaciones que permitirán determinar las variables a determinar mediante el uso de los datos recolectados por los indicadores que el equipo posee Realizar el balance de energía y masa para determinar tasa de transferencia de calor que disipa la refrigeración con el compresor 	<p>Los estudiantes aplicaran los conceptos previamente estudiados sobre transferencia de energía, balances de flujo y energía teniendo en cuenta los principios fundamentales de las leyes termodinámicas necesaria para la solución de los problemas planteados en el banco de convección forzada según las características de operación de cada dispositivo.</p>

ACTIVIDADES ANTES DE CLASE
<ul style="list-style-type: none"> Puesto en marcha el ciclo operativo del compresor, la apertura del paso de aire en las válvulas, para controlar las velocidades de los flujos de aire, accionar la resistencia para alcanzar una temperatura de trabajo para el calentamiento de la tubería. Esperar la estabilización del banco después de haber encendido y manipulado las válvulas para controlar los flujos en el interior de las tuberías, revisando siempre de no haber fallas de equipos o fugas de flujo en las tuberías de transporte. Posteriormente se tomarán las mediciones de los indicadores de presión y temperatura en el equipo y luego, tomar mediciones de diámetros de tubería, potencia de los equipos y caudal de flujo en las diferentes secciones de la tubería, para establecer las ecuaciones que aplican al sistema de acuerdo a las leyes aplicadas a la operación que se cumple en el banco de pruebas. Realice los balances de energía y masa correspondientes a las teorías Termodinámicas y físicas que aplican a la operación del equipo y determine las tasas de transferencia de energía en el sistema.

- Analice los resultados y justifique el comportamiento del sistema explicando mediante un diagrama de procesos los fenómenos que ejercen el comportamiento operativo del ciclo de calor

MATERIALES Y EQUIPOS

- Compresor 1.5 Hp
- Manómetro de Presión Dinámica
- Tubería
- Indicadores de temperatura
- Resistencia 1000 W
- Válvula de Bola

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

1. Realice el montaje del equipo e inicie su funcionamiento
2. Verifique que todos los elementos estén correctamente conectados
3. Anote todas las mediciones reflejadas en los indicadores de presión y temperatura
4. Formule y plantee las ecuaciones a utilizar
5. Determine las variables pedidas en la practica

EVALUACION

Responda las siguientes preguntas de acuerdo a las pruebas a realizar

1. ¿Cuál fue el Resultado obtenido por el balance de Energía?
2. Determine la tasa de transferencia de calor
3. Analice los resultados obtenidos y justifique basado en una ley termodinámica la descripción del fenómeno que ocurre en el sistema
4. ¿Al reducir el paso de aire desde abra algún cambio en la razón de la tasa de calor al aire o seguirán los parámetros sin presentar algún cambio?
5. Hallar la eficiencia del ciclo y justifique bajo qué condiciones de operación se puede mejorar el rendimiento y desempeño del ciclo en la refrigeración por aire.

Fuente: Autor

Tabla 12. Determinación del coeficiente de transferencia de calor por convección forzada interna

UNIDAD ACADÉMICA: FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIAS	
ASIGNATURA:	
UNIDAD TEMÁTICA	
PRACTICA NO. 03	Determinación del Coeficiente de Transferencias por Convección Forzada interna

COMPETENCIA	RESULTADOS DEL APRENDIZAJE
<ul style="list-style-type: none"> Reconocer las distintas leyes Físicas y Termodinámicas aplicadas en el proceso de operación del banco de Convección Forzada al momento de realizar la transferencia de calor Aplicar las ecuaciones que permitirán determinar las variables a determinar mediante el uso de los datos recolectados por los indicadores que el equipo posee Realizar un análisis del sistema y comprender los fenómenos implícitos en las operaciones, determinando variables en tiempo real sobre la difusión térmica y la convección forzada interna. 	<p>Los estudiantes desarrollaran los conceptos previamente aplicados sobre difusión térmica transferencia de calor por convección forzada interna para la solución de los problemas presentes en tiempo real el momento de poner en funcionamiento el banco de convección forzada según las características de operación de cada dispositivo, así como el análisis del diseño de sus dispositivos.</p>

ACTIVIDADES ANTES DE CLASE
<ul style="list-style-type: none"> Puesto en marcha el ciclo operativo y estabilizado el sistema bajo parámetros escogidos por los estudiantes para su operación, la apertura del paso de aire en las válvulas para controlar las velocidades de los flujos de aire, establecer la intensidad de la resistencia para alcanzar una temperatura específica de trabajo. Posteriormente se tomarán las mediciones de los indicadores de presión y temperatura en el equipo y luego, tomar mediciones de diámetros de tubería, potencia de los equipos y caudal de flujo en sus secciones de tubería, para establecer las ecuaciones que aplican al sistema de acuerdo a las leyes aplicadas a la operación que se cumple en el banco de pruebas. Aplicar las teorías Termodinámicas de difusión térmica, la ley de enfriamiento y las leyes físicas que aplican a la operación del equipo y determine el coeficiente de transferencia de calor por convección forzada interna, el factor de conductividad térmica, así como los parámetros del número de Nusselt, Prandtl y Stanton para las tasas de transferencia de energía en el sistema, Analice los resultados y justifique el comportamiento del sistema explicando mediante un diagrama de procesos los fenómenos que ejercen el comportamiento operativo del ciclo, conducción térmica y convección forzada.

MATERIALES Y EQUIPOS
<ul style="list-style-type: none"> • Compresor 1.5 Hp • Manómetro de Presión Dinámica • Tubería • Indicadores de temperatura • Resistencia 1000 W • Válvula de Bola
ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE
<ol style="list-style-type: none"> 1. Realice el montaje del equipo e inicie su funcionamiento 2. Verifique que todos los elementos estén correctamente conectados 3. Anote todas las mediciones reflejadas en los indicadores de presión y temperatura 4. Formule y plantee las ecuaciones a utilizar 5. Determine las variables pedidas en la practica
EVALUACIÓN
<p>Responda las siguientes preguntas de acuerdo a las pruebas a realizar</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Calcular el coeficiente de transferencia de calor por convección forzada al flujo de aire 2. Hallar el número de Nusselt, el número de Prandtl y el número de Stanton para los parámetros indicados en los sensores tanto para el flujo de aire. 3. Analice los resultados obtenidos y justifique basado en una ley termodinámica la descripción del fenómeno que ocurre al transferir calor al flujo de aire teniendo en cuenta los parámetros de conducción y convección forzada.

Fuente: Autor

3.4.2. Guía básica de seguridad, operación y mantenimiento preventivo del banco de prueba de convección forzada interna

Normas de Seguridad

Las normas básicas de seguridad son un conjunto de medidas destinadas a proteger la salud de todos, prevenir accidentes y promover el cuidado del material de los laboratorios, siendo estas un conjunto de prácticas de sentido común cuyo el elemento clave es la actitud responsable y la concientización de todo el personal en cualquier práctica laboral (Dejours, 2001).

Por tal motivo, se utilizan medios diversos para la divulgación de las normas y reglamentos para la prevención de riesgos laborales pudiendo estos producir cualquier daño o afectación de menor a mayor grado a la integridad física y psicológica de una persona que puedan producir a largo o corto plazo enfermedades, teniendo en cuenta la influencia de múltiples factores que pueden brindar bajas o altas posibilidades que puedan llegar a suceder estos eventos en el desarrollo habitual de cualquier práctica laboral.

Tabla 13.Reglamentos de Seguridad para el Banco de Pruebas de Convección Forzada Interna.

Equipo de Protección Personal y de Seguridad Requeridas para las Prácticas			
Artículo	Cantidad	Material	Uso
Bata de Laboratorio	1	Algodón	Prenda manga larga que se utiliza sobre la ropa para protección de agentes químicos irritantes, ácidos y tintas que puedan caer sobre los brazos o cuerpo del practicante
Zapatos de Seguridad de punta Metálica	Un Par	Cuero , metal y suelas de neopreno	Son artículos de protección para los pies para evitar agentes químicos ácido derramados, con suelas antideslizante y puntas de metal contra golpes u objetos contundentes.
Lentes de Protección	1	Polímero Cristalino	Equipo de protección para los ojos que cualquier tipo de químico caliente, ácido y materiales particulados que puedan dañar o herir los ojos
Guantes	Un Par	Cuero o Látex	Son usados para protección de las manos de agentes químicos agresivos, calientes o golpes contundentes de cualquier objeto solido o corto punzante.

Fuente: Autor

Tabla 14. Herramientas y materiales

Herramientas y Materiales Requeridas para las Prácticas			
Instrumento	Rango- Unidades	Tipo de Fluido de Trabajo	Uso
Manómetros de Presión	20-100 mm cda	Aire	Manómetro diferencial de inspección que compara diferencia de presiones estáticas entre dos cámaras con gases en transporte graduado en (mm.c.d.a), es decir milímetros de una columna de aire
Válvula de globo	1 in	Aire	Es un dispositivo para interrumpir o regular el flujo de un fluido en un conducto, aumentando o reduciendo la sección de paso mediante una placa, denominada «mariposa», que gira sobre un eje. Al disminuir el área de paso, aumenta la pérdida de carga local en la válvula, reduciendo el flujo.

Fuente: Autor

Seguridad y Precauciones

- Trabajar en un área segura, limpia y ventilada
- Revisar las normas de seguridad del área de trabajo y las señales de seguridad

- Verificar el estado del equipo y sus conexiones eléctricas que no presenten cortes, fallas y maltratos que puedan poner en riesgo su manipulación segura
- Al momento de probar el funcionamiento de los equipos verificar su estado y que no presentes obstrucciones, golpes o alteraciones que impidan su buen funcionamiento
- Observar si las secciones de almacenamiento o transporte de flujo no presenten fugas, derrames y vencimiento de empaques para evitar pérdidas de flujo en operación del banco
- Probar el funcionamiento de las válvulas, bridas, manómetros, resistencia, termómetros y que estas no presenten fallas en sus conexiones y operación.

3.4.3. Riesgos a la Salud en Operaciones del Banco de Prueba de Convección Forzada

Riesgo eléctrico: Posibilidad de contacto del cuerpo humano con la corriente eléctrica. Se deben dar las siguientes circunstancias:

- Que el cuerpo humano sea conductor (capaz de transmitir la energía eléctrica).
- Que el cuerpo humano forme parte de un circuito.
- Que exista una diferencia de tensiones entre dos puntos de contacto.

- Contacto

directo: cuando una persona toca o se pone en contacto con un conductor, instalación, elemento eléctrico, (máquina, enchufe, portalámparas, etc.) bajo tensión directa.
- Contacto

indirecto: aquellos que se producen al tocar partes metálicas, conductores, elementos o máquinas, carcasas, etc, que NO deberían estar sometidos a tensión directa, pero que circunstancialmente han quedado bajo tensión accidental.
- Tiempo de

exposición a la corriente. A mayor tiempo de exposición a la corriente, mayores son las consecuencias, por lo tanto, si la resistencia del cuerpo humano a la corriente y tensión de contacto según la ley de Ohm, establece que una menor resistencia a la electricidad produce un consiguiente aumento en la intensidad de corriente, desde el punto de vista de la resistencia, podemos distinguir los siguientes aspectos:
- Resistencia de

contacto: Depende de los materiales que recubran la parte del cuerpo que entra en contacto con la corriente. (Guantes, ropa, piel).
- Resistencia de

salida: Depende de la resistencia del calzado, del suelo, o de los medios que interpongamos entre éstos banquetas o alfombrillas aislantes.
- Resistencia

propia del cuerpo: Es función de la tensión aplicada y de las condiciones de humedad de la piel: seca, húmeda, mojada o sumergida. La piel seca tiene una mayor resistencia a la corriente eléctrica.

- De esta forma un aumento de la resistencia a la electricidad, en forma de guantes aislantes, calzado apropiado o evitando la humedad de la piel, reduce el riesgo eléctrico.

Medidas preventivas

- Información de los riesgos existentes.
- Señalización de riesgos: mediante las correspondientes señales de seguridad (prohibición, advertencia, obligación).
- Instrucciones específicas de trabajo con riesgos eléctricos. En las que se detallan el procedimiento de trabajo.
- Medidas de protección individuales: como EPP's, guantes aislantes, herramientas con mangos de plástico, en instalaciones, equipos de trabajo y herramientas.
- Exigiendo el cumplimiento de la normativa, en el proceso de construcción de las instalaciones.
- Señalización del material con marcado CE, para equipos de trabajo y herramientas.

Riesgos Mecánicos

Es aquél que puede producir lesiones debidas principalmente a los elementos móviles de la máquina, o de las piezas o material con el que se trabaje. Se pueden subdividir en:

- Corte o seccionamiento
- Cizallamiento
- Aplastamiento
- Enganche
- Atrapamiento o arrastre
- Punzonamiento
- Fricción o abrasión
- Proyección de fluido a alta presión

Medidas de Protección para Manipulación de Maquinarias

Una vez que nos aseguramos que la máquina ha sido construida siguiendo unos patrones de seguridad homologados, el operario de la misma debe usarla de modo correcto y evitando los riesgos propios y específicos de cada una de ellas. Para ello se recomienda seguir las siguientes instrucciones:

- Seguir las especificaciones de uso, entre las cuales están los peligros potenciales y las medidas de seguridad a adoptar.
- Usar las medidas de seguridad de las máquinas.
- Usar los equipos de protección individual específicos (guantes, botas, gafas, etc.) si fueran necesarios.
- Resguardos de seguridad, que son medios de protección para impedir que las personas accedan a puntos de peligro de la máquina
- Detector de presencia: Detiene la máquina cuando una persona entra dentro del límite de seguridad de la máquina.
- De movimiento residual: Está diseñado para evitar acceso cuando es parada la máquina a las partes que estén en movimiento por inercia.

- De retención mecánica: Retiene mecánicamente una parte peligrosa de la máquina en movimiento, mediante un obstáculo: cuña pasador.
- De mando a dos manos: Requiere ambas manos para accionar la máquina, evitando así que el operador pueda sufrir atrapamiento de sus manos.
- Especificaciones de uso: En los manuales de instrucciones de las máquinas, entre otros muchos datos proporcionados, deben aparecer los relacionados con los peligros potenciales de éstas, así como sus medidas preventivas.

Riesgos Térmicos

Pueden originarse quemaduras por contacto con materiales, sustancias o piezas a temperaturas extremadamente frías o muy calientes generando daños físicos y riesgos a la integridad de una persona al punto de causar la muerte (Dejours, 2001).

- Peligro producido por la exposición a ruido al ser un tipo de exposición continua a altos ruidos puede ocasionar en unos casos pérdida permanente de audición, y en otros, fatiga, estrés y trastornos generales. Dificulta los procesos de comunicación y puede invalidar, en algunos casos, las señales acústicas utilizadas para avisar de algún otro peligro o de una situación de emergencia.
- Peligros producidos por la exposición a vibraciones que pueden ocasionar trastornos musculares (mano, lumbago, ciática, nervios, y otras partes del cuerpo), además de trastornos de tipo neurológico y vascular.
- Peligro debido a las radiaciones estas pueden ser ionizantes, procedentes de fuentes radiactivas como: equipos de radiografía, eliminadores de cargas estáticas radiactivas y no ionizantes, que las podemos encontrar en hornos de microondas, en procesos de calentamiento por inducción y

dieléctrico, en operaciones de soldadura al arco eléctrico, en técnicas de impresión por ultravioleta.

- Peligro debido a la exposición a sustancias peligrosas y a la emisión de polvo, gases, éstos pueden desprenderse en el procesado de los materiales, ocasionando riesgo higiénico para los operarios que pudieran inhalarlos o entrar en contacto con ellos.
- Peligros debidos a defectos ergonómicos ya que el operador puede sufrir trastornos físicos por la adopción de posturas incorrectas o la necesidad de realizar esfuerzos mayores que los que serían propios de la tarea.
- Peligro de incendio y explosión de sustancias comburentes o de alto poder calorífico reaccionando de manera exotérmica liberando gran cantidad de energía en forma de ondas que pueden causar daños graves y quemaduras peligrosas hasta conllevar a la muerte.

3.4.4. Guía de Mantenimiento y operación del Banco de Pruebas de Convección Forzada.

El banco de prueba de convección forzada tiene un mantenimiento simple que no requiere de rutinas periódicas con técnicas complejas de limpieza y manutención, por lo tanto, se presenta a continuación una serie de pasos y seguimientos simples que requiere es equipo para mantenerlo en óptimas condiciones de operatividad.

Tabla 15. Herramientas Guía de Revisión y Mantenimiento del Banco de Convección Forzada.

Guía de Seguimiento de Materiales y Equipos del Banco de Pruebas de Convección Forzada

Artículo	Revisión Técnica	Procedimiento Recomendado
Compresor	Se debe verificar que las conexiones no presenten daños ni cortes y una tensión eléctrica dentro del estándar de operación del equipo, al mismo tiempo revisar que el equipo no contenga objetos que obstruyan su funcionamiento.	<p>Si presenta daño en el cable de conexión remplazar y revisar todo el circuito eléctrico para lo presentar fallas de tensión.</p> <p>En caso de presentar obstrucción física al interior del equipo que, retirar la cubierta y limpie el interior hasta retirar la obstrucción.</p> <p>Gire manualmente las aspas y el eje luego lubrique superficialmente el eje y limpie el exceso de aceite y coloque nuevamente la estructura para cerrar la cámara de ventilado.</p>
Válvula de Bola	Manipular la llave control de paso de flujo de la válvula para ver si está bien ajustada o aislada	En caso de presentar desajuste la llave de la válvula apretar el tornillo ajustador y en caso de presentar aislamiento sustituir la válvula completamente
Resistencia	Verificar la intensidad transmitida y las temperaturas de operación, así como las conexiones eléctricas.	En caso de presentar elevaba o baja tensión eléctrica revisar la fuente de conexión y luego revisar los cables de instalación para asegurarse de no presentar una mala conexión o ajuste de los cables y sensores.
Tubería	Observe si la tuberío presenta fugas y revise el ajuste de las conexiones.	Si observa algún tipo de daño o desajuste en los conectores se recomienda el ajuste próximamente debido a que la operatividad del equipo en ese estado puede presentar error en las mediciones del

		manómetro estático y derrame de flujo.
--	--	----------------------------------------

Fuente: Autor

Tabla 16. Bitácora de Revisión Técnica del Banco de Convección Forzada.

Formato de Revisión Técnica de Materiales y Equipos del Banco de Pruebas de Convección Forzada				
Artículo	Estado	Observaciones	Procedimiento	Fecha
Compresor	Operativo			
	Dañado			
Tubería de 1 in	Operativo			
	Dañado			
Tubería de ½ in	Operativo			
	Dañado			
Tubería de 3/8 in	Operativo			
	Dañado			
Tubería de 3/4 in	Operativo			
	Dañado			
Válvula de Bola	Operativo			
	Dañado			
Codos	Operativo			
	Dañado			
Resistencia	Operativo			

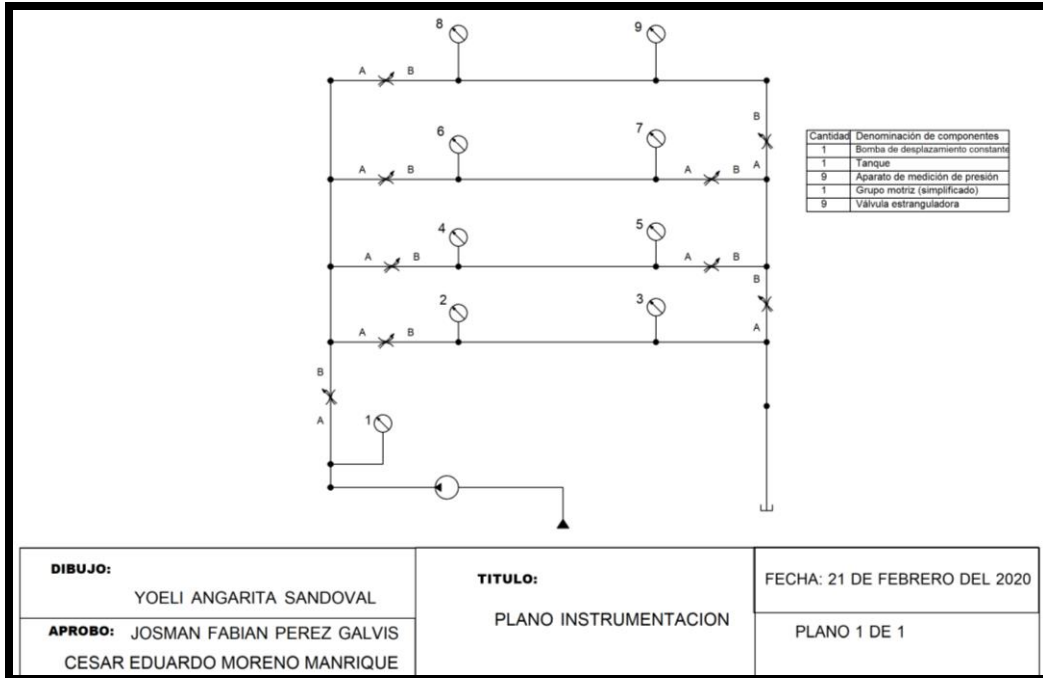
	Dañado				
Tubería	Operativo				
	Dañado				
Soporte Estructural	Operativo				
	Dañado				
Manómetros de Presión y temperatura	Operativo				
	Dañado				
Roda chinas	Operativo				
	Dañado				

Fuente: Autor

4. RESULTADOS

Inicialmente el proyecto, planteó un problema con el fin de llevar a cabo la resolución del mismo, caracterizando propiedades físicas que intervienen en el mismo. Seguido, de la recopilación de información teórica y conceptual de las variables de temperatura, densidad, flujo de aire, entre otras. Se estableció el diseño de un banco de pruebas para determinar el coeficiente por convección forzada interna, lo cual permitió mejorar el conocimiento transmitido a los estudiantes autores de la pesquisa, quienes identificaron detalladamente los elementos que interfieren en el funcionamiento de los mecanismos que componen el banco. La herramienta de aplicación tecnológica SolidWorks permitió el desarrollo de los componentes como los planos mecánicos, conexiones físicas de los equipos e instrumentación (Ver Figura 95) que conforma el banco de pruebas con el fin de favorecer la visión correcta de la construcción del mismo.

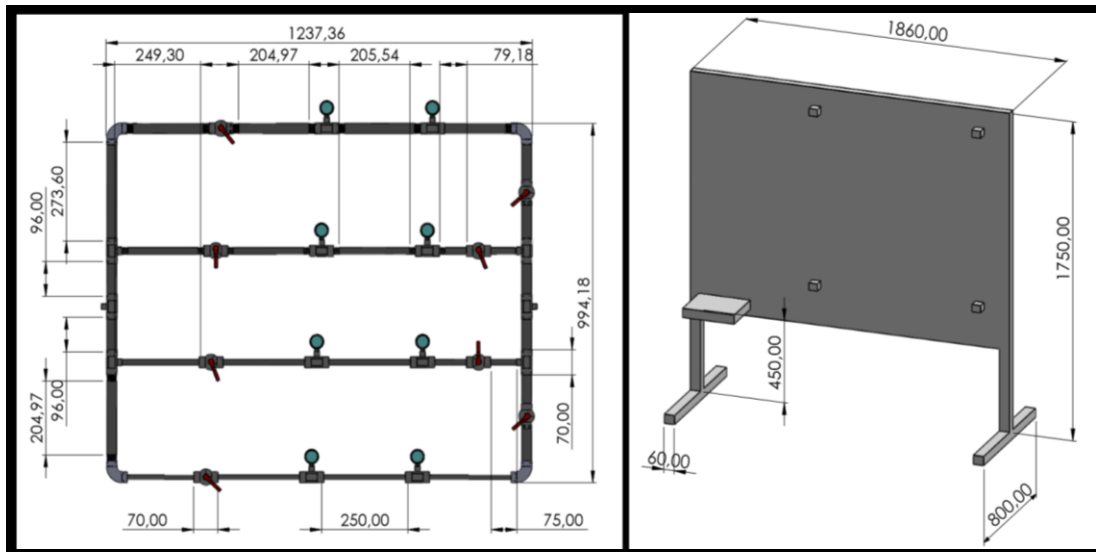
Figura 95. Plano de instrumentación



Fuente: Autor

Con la investigación se estableció el modelo de banco de pruebas más pertinente para elaborar experimentalmente pruebas de transferencia por convección adaptado a los requerimientos necesarios, se consideraron aspectos como características, dimensiones, pesos y aspectos técnicos que permitieron obtener un diseño claro del banco de pruebas. Se planteó la realización de un manual de operación para las personas que deseen manipular el banco de pruebas, que garantice la integridad y el buen funcionamiento del equipo.

Figura 96. Medidas del banco de pruebas (mm)



Fuente: Autor

A partir de las dimensiones definidas (Ver Figura 96), se llevó a cabo la construcción de un equipo de prueba teniendo en cuenta que la selección de los componentes estuvo basada en la identificación del estado del arte el cual genera una herramienta caracterizada por la descripción de autores. Asimismo, la elaboración de pruebas en la que se determinó el coeficiente de convección forzada y evidencia el comportamiento de este una vez accionado el equipo.

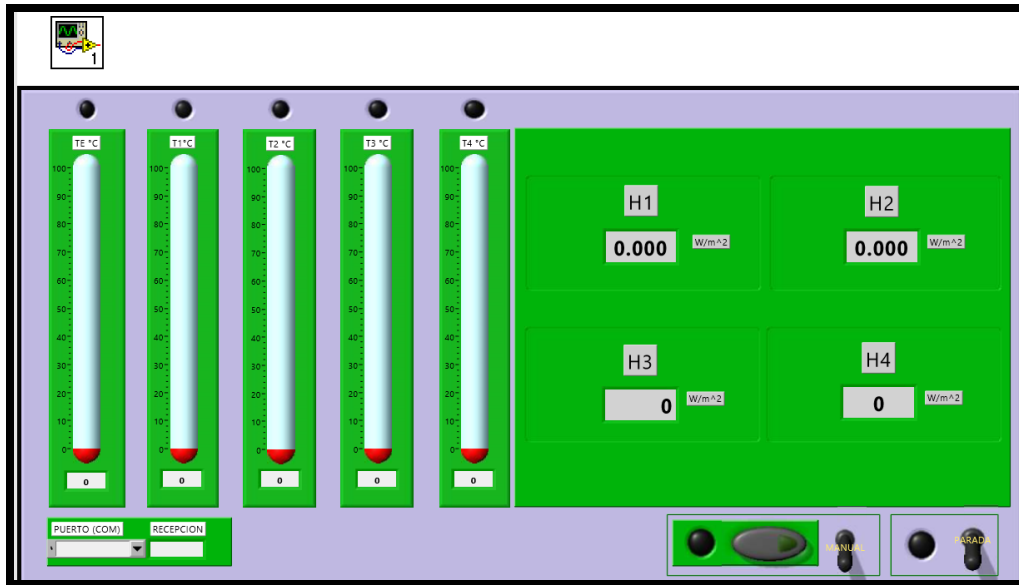
Figura 97. Banco de pruebas final



Fuente: Autor

La Figura 97 ilustra el banco de pruebas final conformado por tubería de 1", 1/2", 3/8" y 3/4" en acero galvanizado. Los tramos de tubería fueron acoplados a una estructura metálica a la cual se instaló madera triple y cuatro Rodachines con capacidad promedio de 120 Kg. El banco se conforma por un compresor de 1.5 Hp / 182 Lpm, 4 indicadores de temperatura y 4 de presión. Las conexiones fueron realizadas con 14 conectores Tee marca MolighDoll, 2 codos de 90° a 1" y 2 codos de 90° de 3/8" marca ITAP. Se utilizaron 7 válvulas de bola encargadas de la apertura y cierre en cada línea de tubería. El equipo se compone por un drum recubierto con aislamiento, utilizado para almacenar un volumen de 120 lpm.

Figura 98. Herramienta para visualizar el comportamiento de la temperatura y cálculo del $h_{\text{convectiva}}$ en cada tramo de tubería



Fuente: Autor

La Figura también permite observar un computador, instalado como herramienta para visualizar el comportamiento de la temperatura y cálculo del $h_{\text{convectiva}}$ en cada línea de tubería como se observa en la imagen 98. De acuerdo a los cálculos realizados se evidencio un porcentaje de error de aproximadamente el 20% entre el valor digital y teórico.

5. CONCLUSIONES

El aprendizaje adquirido al momento de estudiar el comportamiento de las sustancias sus propiedades fisicoquímicas, difusión térmica, conducción y convección de calor, marca una pauta importante para reconocer los diferentes procesos aplicando en la industria cambiando la forma de ver sobre los equipos y su funcionamiento entendiendo que siempre se puede realizar mejoras o innovación en cualquier aspecto que permita el desarrollo de un nuevo producto o variable obtenida desde el punto de vista de la ingeniería.

Se realizó la evaluación experimental del coeficiente de transferencia de calor en un banco de pruebas compuesto por cuatro tramos de tubería de acero con diámetros variables de 1 in, $\frac{3}{4}$ in, $\frac{1}{2}$ in y $\frac{3}{8}$ in. Se caracterizó la medición de temperatura y presión en el banco.

A partir de las pruebas realizadas en el banco se concluye que la variación de la temperatura respecto a un tiempo influye sobre el H convectiva por lo que se establece que a mayor rango de temperatura el coeficiente de convección disminuye.

6. RECOMENDACIONES

Es de vital importancia conocer bien el funcionamiento del banco y seguir a cabalidad un protocolo periódico para su limpieza y mantenimiento evitando malos funcionamientos, desgastes, operaciones forzadas y deterioro del equipo, por lo cual se hace necesario el uso debido de normas de protección personal y de operaciones al tener que operar un equipo que presente cambios de temperatura en sus secciones importantes.

Para comprender el funcionamiento del banco de pruebas convección forzada es necesario tener en cuenta los principios de transferencia de calor y las leyes de termodinámica los cuales fueron las bases para el diseño de este equipo, cuya operación es de vital importancia entender el funcionamiento de cada parte del equipo, ya que una mala interpretación de su funcionalidad podría arrojar datos erróneos para la determinación los balances de energía que se dan en dicho dispositivo.

Se recomienda adquirir sentido de pertenencia para el uso del banco de pruebas de convección forzada debido a que su construcción se realizó para contribuir en los procesos de enseñanza y aprendizaje para llevar más allá el conocimiento teórico adquirido en clases y llevarlo a un plano físico en el cual se complementa la enseñanza de forma tangible, por tal razón se planteó esta idea que fue ejecutada con el fin de aportar un poco más a los procesos de formación profesional.

7. BIBLIOGRAFÍA

Arevalo, P. (1998). Transferencia de Calor por Conveccion Natural en una Cavidad Horizontal. Toluca.

Betancurt, M. A. (2011). Determinacion experimental y prediccion del coeficiente de transferencia de calor alrededor del bulbo de un termometro de vidrio. Bogota: Universidad Nacional De Colombia.

Blasco, A., Blasco, E., Valdes, F., & Arrebola, J. G. (2008). Fundamentos fisicos de la edificacion II. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid.

Cengel, Y. A. (2007). Transferencia de Calor y Masa 3 Edicioón. Reno: Mc Graw Hill.

Constitucion politica de Colombia, . (2016). constitucion politica de Colombia. Bogota: Rama Judicial Republica de Colombia.

Diaz, A. G., & Zuñiga, D. d. (2014). Diseño de intercambiador de calor coraza y tubos para optimizar el margen de refinacion en la unidad de destilacion combinada de la refineria de cartagena (RCSA). Cartagena: Universidad San Aventura Cartagena.

Glimour, A. A., & David, M. N. (2012). Diseño y construccion de un equipo para el analisis de transferencia de calor por radiaccion y convencion combinadas para el laboratorio de transferencia de calor . Quito: escuela politecnica Nacional .

Israel, L. G., & Rodrigo, A. L. (2014). Diseño, Construcción y pruebas de un chiller para el laboratorio de transferencia de calor. RioBamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo .

Linarez, C., & Rodriguez, E. (2015). Diseño y construcción de un condensador para el estudio de convección forzada. Venezuela: Universidad Nacional Experimental Politécnica.

M.T.S.S. (1979). Resolución 2400. Colombia: República de Colombia.

Mott, R. L. (2006). Mecánica de Fluidos 6 Edición. México: Pearson Educación

Sambrano, J. A. (2013). Diseño de un banco de pruebas para la determinación del coeficiente de transferencia de calor por convección forzada, en chorros de agua que impactan sobre la superficie metálica calentada . Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.



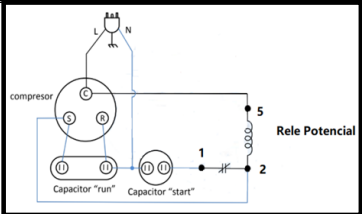
Sears, F. W., Zemansky, M. W., & Young, H. D. (1981). Física . Madrid: Aguilar.

Tomé, C. (11 de Julio de 2017). La Primera Ley de la Termodinámica. (Cuaderno de Cultura Científica) Recuperado el 16 de 01 de 2019, de <https://culturacientifica.com/2017/07/11/la-primera-ley-la-termodinamica/>

Wiley, J., & Sons. (2007). Física. Bogotá: Editorial Reverte S.A.



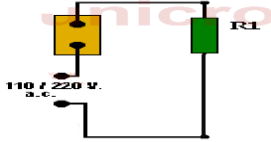
ANEXOS

Anexo 1.Ficha técnica compresor

UNDADES TECNOLOGICAS DE SANTANDER			
SEDE PRINCIPAL			
1. DATOS GENERALES			
Nombre:	Compresor 1.5 HP		
Marca:	MPC		
Modelo:	66216		
Laboratorio	Mecanica de fluidos		
Nº Equipos iguales	1		
Ubicación	Equipo de prueba para determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección forzada interna		
2. CARACTERISTICAS TÉCNICAS			
Tensión:	110 V	Posición de trabajo:	Horizontal
Clase:	IP 20	otra:	Corriente alterna
Tipo de instrumento:	Incrementar la presión		
SPAN:	12 A		
Tensión de prueba:	110 V		
USOS O APLICACIONES			
Un compresor es una máquina de fluido que está construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tales como gases y vapores.			
MODO DE CONEXIÓN			
		Se realiza conexión de la línea neutro a una fuente de alimentación de 110V	
RECOMENDACIONES DE USO:		Se debe verificar que las conexiones no presenten daños ni cortes y una tensión eléctrica dentro del estándar de operación del equipo, al mismo tiempo revisar que el equipo no contenga objetos que obstruyan su funcionamiento.	
Ubicación del manual:		Sin manual	



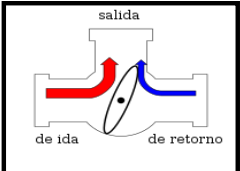
Fuente: Autor

Anexo 2. Ficha técnica resistencia

UNDADES TECNOLOGICAS DE SANTANDER SEDE PRINCIPAL			
1. DATOS GENERALES			
Nombre:	Resistencia 1000 W	FOTO DEL EQUIPO 	
Marca:	BSD		
Modelo:	483A / 01594		
Laboratorio	Mecanica de fluidos		
Nº Equipos iguales	1		
Ubicación	Equipo de prueba para determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección forzada interna		
2. CARACTERISTICAS TÉCNICAS			
Tensión:	220 V	Posición de trabajo:	Vertical
Clase:	t-5	otra:	Corriente alterna
Tipo de instrumento:	Oposición al flujo de corriente eléctrica a través de un conductor		
SPAN:	10 A		
Tensión de prueba:	150 Ohmios a 1/2W		
USOS O APLICACIONES			
Una resistencia es un dispositivo que convierte una señal electrica en calor util para elevar la temperatura de sustancias liquidas, gaseosas o superficies solidas			
MODO DE CONEXIÓN			
		Se acciona la resistencia para alcanzar una temperatura de trabajo para el calentamiento de la tubería.	
RECOMENDACIONES DE USO:		Verificar la intensidad transmitida y las temperaturas de operación, así como las conexiones eléctricas.	
Ubicación del manual:		Sin manual	

Fuente: Autor

Anexo 3. Ficha técnica Valvula de bola

UNDADES TECNOLOGICAS DE SANTANDER SEDE PRINCIPAL			
1. DATOS GENERALES			
Nombre:	Válvula de Bola (1in, ¾ in, ½ in, 3/8 in)	FOTO DEL EQUIPO 	
Marca:	ITAP		
Modelo:	# 090		
Laboratorio	Mecanica de fluidos		
Nº Equipos iguales	7		
Ubicación	Equipo de prueba para determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección forzada interna		
2. CARACTERISTICAS TÉCNICAS			
Tensión:	--	Posición de trabajo:	Vertical
Clase:	--	otra:	--
Tipo de instrumento:	--		
SPAN:	--		
Tensión de prueba:	--		
USOS O APLICACIONES			
Es un mecanismo de llave de paso que sirve para regular el flujo de un fluido canalizado y se caracteriza por tener un mecanismo esférico en el interior para permitir el paso o restricción de fluido.			
MODO DE CONEXIÓN			
		Las válvulas de bola actúan como válvulas de aislamiento principal y secundario.	
RECOMENDACIONES DE USO:		Manipular la llave control de paso de flujo de la válvula para ver si está bien ajustada o aislada	
Ubicación del manual:		Sin manual	



Fuente: Autor

Anexo 4. Indicador de temperatura

UNDADES TECNOLOGICAS DE SANTANDER SEDE PRINCIPAL			
1. DATOS GENERALES			
Nombre:	Indicador temperatura 0 – 150 °C	FOTO DEL EQUIPO 	
Marca:	DEWIT		
Modelo:	BMP-5X4 0-150		
Laboratorio	Mecanica de fluidos		
Nº Equipos iguales	4		
Ubicación	Equipo de prueba para determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección forzada interna		
2. CARACTERISTICAS TÉCNICAS			
Tensión:	--	Posición de trabajo:	Vertical
Clase:	--	otra:	--
Tipo de instrumento:	--		
SPAN:	--		
Tensión de prueba:	--		
USOS O APLICACIONES			
Permite observar la temperatura en un visualizador estos tienen la capacidad de percibir las variaciones de temperatura de manera lineal			
MODO DE CONEXIÓN			
		El indicador de temperatura es acoplado a la tubería	
RECOMENDACIONES DE USO:		Anote todas las mediciones reflejadas en los indicadores de temperatura	
Ubicación del manual:		Sin manual	

Fuente: Autor

Anexo 5. Indicador de presión

UNDADES TECNOLOGICAS DE SANTANDER SEDE PRINCIPAL			
1. DATOS GENERALES			
Nombre:	Manometro 0 – 100 psi	FOTO DEL EQUIPO 	
Marca:	Winters		
Modelo:	201L		
Laboratorio	Mecanica de fluidos		
Nº Equipos iguales	4		
Ubicación	Equipo de prueba para determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección forzada interna		
2. CARACTERISTICAS TÉCNICAS			
Tensión:	--	Posición de trabajo:	Vertical
Clase:	--	otra:	--
Tipo de instrumento:	--		
SPAN:	--		
Tensión de prueba:	--		
USOS O APLICACIONES			
Permite observar la presión que circula en cada tramo de la tubería.			
MODO DE CONEXIÓN			
		El indicador de presión es acoplado a la tubería	
RECOMENDACIONES DE USO:		Anote todas las mediciones reflejadas en los indicadores de presión	
Ubicación del manual:		Sin manual	

Fuente: Autor

Anexo 6.Ficha técnica Tee

UNDADES TECNOLOGICAS DE SANTANDER			
SEDE PRINCIPAL			
1. DATOS GENERALES			
Nombre:	Tee	FOTO DEL EQUIPO 	
Marca:	Moligh doll		
Modelo:	043314		
Laboratorio	Mecanica de fluidos		
Nº Equipos iguales	13		
Ubicación	Equipo de prueba para determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección forzada interna		
2. CARACTERISTICAS TÉCNICAS			
Tensión:	--	Posición de trabajo:	Horizontal
Clase:	--	otra:	--
Tipo de instrumento:	--		
SPAN:	--		
Tensión de prueba:	--		
USOS O APLICACIONES			
Es un componente empleado para el acompañamiento en la unión o conexión de tubería por las cuales circula un fluido.			
MODO DE CONEXIÓN			
		Los conectores Tee se incluyen dentro a la tubería que se va a trabajar	
RECOMENDACIONES DE USO:		Probar el funcionamiento de los conectores tee y que estos no presenten fallas en sus conexiones y operación.	
Ubicación del manual:		Sin manual	

Fuente: Autor

Anexo 7.Valvula de globo

UNDADES TECNOLOGICAS DE SANTANDER			
1. DATOS GENERALES			
Nombre:	Válvula de globo	FOTO DEL EQUIPO 	
Marca:	MILWAUKEE VALVE		
Modelo:	1JLE1		
Laboratorio	Mecanica de fluidos		
Nº Equipos iguales	1		
Ubicación	Equipo de prueba para determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección forzada interna		
2. CARACTERISTICAS TÉCNICAS			
Tensión:	--	Posición de trabajo:	Horizontal
Clase:	--	otra:	--
Tipo de instrumento:	--		
SPAN:	--		
Tensión de prueba:	--		
USOS O APLICACIONES			
Es un dispositivo para interrumpir o regular el flujo de un fluido en un conducto, aumentando o reduciendo la sección de paso mediante una placa, denominada «mariposa», que gira sobre un eje. Al disminuir el área de paso, aumenta la pérdida de carga local en la válvula, reduciendo el flujo			
MODO DE CONEXIÓN			
		La válvula se incluyen dentro a la tubería que se va a trabajar	
RECOMENDACIONES DE USO:		Al momento de probar el funcionamiento del elemento verificar su estado y que no presentes obstrucciones, golpes o alteraciones que impidan su buen funcionamiento	
Ubicación del manual:		Sin manual	

Fuente: Autor

Anexo 8. Ficha técnica tubería

UNDADES TECNOLOGICAS DE SANTANDER			
1. DATOS GENERALES			
Nombre:	Tubería	FOTO DEL EQUIPO	
Marca:	ERA		
Modelo:	Sch80		
Laboratorio	Mecanica de fluidos		
Nº Equipos iguales	4		
Ubicación	Equipo de prueba para determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección forzada interna		
2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS			
Tensión:	--	Posición de trabajo:	Horizontal
Clase:	--	otra:	--
Tipo de instrumento:	--		
SPAN:	--		
Tensión de prueba:	--		
USOS O APLICACIONES			
Conducto que cumple la función de transportar agua u otros fluidos.			
MODO DE CONEXIÓN			
		Una vez instalados los soportes, se realiza el montaje y posterior ajuste con dos abrazaderas tipo U en acero inoxidable, dos de 1" para la parte superior y dos de 3/4" para la parte inferior.	
RECOMENDACIONES DE USO:		Observe si la tubería no presenta fugas y revise el ajuste de las conexiones.	
Ubicación del manual:		Sin manual	

Fuente: Autor

Anexo 9. Ajuste de indicadores de presión y temperatura



Fuente: Autor