

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO



SEDE LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR
DE FLUJO CRUZADO CON SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AUTOMOTRIZ**

**LUIS BOLÍVAR ANDRADE FREIRE
CRISTIAN DANIEL ESPINOSA GONZALEZ**

Latacunga, Julio 2009

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDADES

Nosotros, Andrade Freire Luis Bolívar

Espinosa Gonzalez Cristian Daniel

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE FLUJO CRUZADO CON SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS” ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Julio del 2009

Andrade Freire Luis Bolívar.

CI.- 1719127464

Espinosa Gonzales Cristian Daniel.

CI.- 1719941112

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Andrade Freire Luis Bolívar

Espinosa Gonzalez Cristian Daniel

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del trabajo “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE FLUJO CRUZADO CON SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y auditoria.

Latacunga, Julio del 2009

Andrade Freire Luis Bolívar.

CI.- 1719127464

Espinosa Gonzales Cristian Daniel.

CI.- 1719941112

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICADO

ING. OSCAR ARTEAGA (DIRECTOR)

ING. GUIDO TORRES (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE FLUJO CRUZADO CON SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS” realizado por los señores: ANDRADE FREIRE LUIS BOLÍVAR y ESPINOSA GONZALES CRISTIAN DANIEL, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, **SI** recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de UN empastado y UN disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat. Autorizan a los señores:

ANDRADE FREIRE LUIS BOLÍVAR y ESPINOSA GONZALEZ CRISTIAN DANIEL que lo entreguen al ING. JUAN CASTRO CLAVIJO, en su calidad de Coordinador de Carrera.

Latacunga, Julio 2009

Ing. Oscar Arteaga

DIRECTOR

Ing. Guido Torres

COORDIRECTOR

DEDICATORIA

El proyecto de investigación científica lo dedico de manera especial a Dios, mi familia y mis amigos, que me apoyaron a todo momento y que gracias a su ayuda de todos culmine exitosamente mi proyecto.

BOLÍVAR

DEDICATORIA

Primero quiero dedicar este logro a los pilares fundamentales de mi vida, Dios y mi familia; sin ellos esto no hubiese sido posible; sus manos todas unidas empujando e impulsándome aun cuesta arriba en las adversidades y que nunca me dejaron desfallecer ni darme por vencido, ellos fueron el combustible en todo este viaje largo que por fin veo culminado.

También dedico este trabajo y esfuerzo a todos aquellos que de una u otra manera tomaron parte en este reto que es la vida universitaria.

AGRADECIMIENTO

A Dios y la vida por las oportunidades brindadas, a mi familia por su fuerza, esfuerzo y motivación, y un agradecimiento especial a los amigos, 'monchos', conocidos y demás gente por toda la amistad, compañerismo y el acolite que dejaron huella y lección de vida.

RESUMEN

El presente proyecto se enfoca al diseño y construcción de un intercambiador de calor de flujo cruzado con sistemas de datos, cuyo principal propósito es de facilitar el entendimiento de transferencia de calor por convección forzada a través de un tubo dentro de un banco de tubos.

La programación se encarga de informar al operador del banco de pruebas de la temperatura a la cual se esta enfriando el eje, la temperatura dentro del túnel a la entrada salida y el controlador nos indica también la presión a la cual ingresa el aire dentro del túnel, todo esto mediante una pantalla o display.

El capítulo I, se refiere a los intercambiadores de calor sus tipos, aplicaciones, características y funcionamiento que se fueron detallando en la construcción del banco de pruebas.

El capítulo II, se trata del diseño hidráulico y térmico el cual nos permite el diseño de todos los elementos y piezas por medio de un software de diseño conocido como SolidWorks y sus herramientas como CosmosWorks, CosmosMotion que se encargan de análisis y estudios estáticos, térmicos de pandeo, choque, fatiga, etc. y FloWorks que nos ayuda al estudio aerodinámicos, hidráulicos y fluidos en distintas piezas.

El capítulo III, se refiere al diseño mecánico, aquí seleccionamos materiales a utilizarse tanto para la bancada como banco de pruebas, y el tipo de transmisión de potencia.

El capítulo IV, se trata de la selección de ciertos dispositivos eléctricos como motor eléctrico, sensores, memorias, fuentes, ayudándonos a diseñar el circuito eléctrico mediante un software editor de códigos para la realización de programas bases de uso en micro controladores y circuitos integrados, ISIS 6 profesional que es un software de diseño construcción de circuitos electrónicos con extensa librería de componentes y elementos que permite la compilación y simulación de programas de MicroCode.

El capítulo V, se refiere a la construcción de la mesa y ensamblaje de todos los elementos o componentes hidráulicos, mecánicos, eléctricos y electrónicos que componen el banco de pruebas.

El capítulo VI, se refiere a las pruebas de ensayo, elaboración de instructivo de operación y guías que servirán de ayuda para las distintas practicas a realizarse por el estudiante en el banco de pruebas.

PRESENTACIÓN

Este proyecto representa todo el esfuerzo, dedicación y pasión a la carrera de mecánica automotriz, los compañeros y el personal docente que nos supieron abrir los horizontes del conocimiento y brindarnos todas las herramientas útiles en este campo tan amplio y lleno de alcances y opciones por desarrollar.

El proyecto involucra el campo de la termodinámica y transferencia de calor como ciencias bases de los fenómenos que se experimentaran y se realizaran en este banco de pruebas, con la utilización de un elemento de control. La obtención de datos de manera digital evita la necesidad de instrumentación análoga susceptible a falla o errores de medición por parte del operador, además de brindar un ambiente más cómodo y sencillo al usuario del banco de pruebas, manteniendo enfocado su atención al experimento en sí, además de la implicación tecnología que estos nuevos sistemas de datos digitales significan dentro de un equipo de estas características.

Otro punto dentro de este proyecto involucra el diseño de las piezas de este banco de pruebas que deberán cumplir con ciertas características mecánicas y térmicas para la viabilidad del experimento. Todas ellas estudiadas a fondo y relacionadas con los objetivos a buscar.

La importancia y relevancia que tienen estos fenómenos dentro del campo automotriz es de gran ayuda para el estudiante para idealizar el funcionamiento del radiador y la importancia dentro del automóvil y desempeño del motor. También para nivel de la

industria y demás ingenierías mecánicas que involucren en sus análisis la transferencia de calor, los sistemas de refrigeración o calefacción. También hay que tomar en cuenta la importancia que conlleva tener un banco de pruebas de estas características para la Espe sede Latacunga y la carrera de energía y mecánica. Este proyecto es para todos aquellos de mente ávida de conocimientos, a aquellos de mente inquietas que deseen responder a muchas dudas, para todos ellos este proyecto y trabajo, el conocimiento esta aquí y aguarda.

INDICE

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDADES	2
AUTORIZACIÓN	3
CERTIFICADO	4
DEDICATORIAS	4
AGRADECIMIENTO	4ii
RESUMEN	8
PRESENTACIÓN	10

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1.- INTRODUCCIÓN	25
1.2.- TIPOS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR	26
1.3.- FUNCIONAMIENTO DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR DE FLUJO CRUZADO	30
1.4.- NÚMERO DE REYNOLDS, NUSSELT, PRANDTL, FLUJO LAMINAR Y TURBULENTO	31
1.4.1.- NÚMERO DE REYNOLDS.	31
1.4.2.- NÚMERO DE NUSSELT.	32
1.4.3.- NÚMERO DE PRANDTL.	32
1.4.4.- FLUJO LAMINAR	33
1.4.5.- FLUJO TURBULENTO	34
1.5.- TEOREMA DE BERNOULLI	35
1.6.- TUBO DE PITOT	36

1.7.- MÉTODOS DE DISEÑO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR DE FLUJO CRUZADO	36
--	-----------

CAPÍTULO II

MODELACIÓN, DISEÑO HIDRÁULICO Y TÉRMICO DEL INTERCAMBIADOR DE FLUJO CRUZADO

2.1.- HERRAMIENTAS PARA EL DISEÑO MECÁNICO.....	38
2.1.1.- SOLIDWORKS 2007.....	38
2.1.2.- COSMOSWORKS 2007	39
2.1.3.- FLOWORKS 2007	40
2.2.- PARÁMETROS DE DISEÑO.....	41
2.3.- CÁLCULO DE FLUJO DE AIRE NECESARIO	41
2.4.- ELEMENTOS DEL INTERCAMBIADOR DE FLUJO CRUZADO	43
2.5.- MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DEL CONO DE SUCCIÓN.....	44
2.6.- MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DEL TUNEL DE INGRESO	45
2.7.- MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DE LA ZONA DE PRUEBA	46
2.8.- MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DEL DIFUSOR.....	47
2.9.- MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DEL SOPORTE DEL VENTILADOR	48
2.10.- MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DEL ESTRANGULADOR	50
2.11.- CÁLCULOS DE PRESIONES, TURBULENCIA Y TRANSFERENCIA DE CALOR	53
2.11.1.- CÁLCULOS CON APERTURA DE LA PLACA 10%	54
2.11.1.1.- Turbulencia.....	54
2.11.1.2.- Presión dinámica y total	55
2.11.1.3.- Temperaturas	56
2.11.2.- CÁLCULOS CON APERTURA DE LA PLACA 50%	57
2.11.2.1.- Turbulencia.....	57
2.11.2.2.- Presión dinámica y total	58
2.11.2.3.- Temperaturas	60
2.11.3.- CÁLCULOS CON APERTURA DE LA PLACA 100%	61

2.11.3.1.- Turbulencia.....	61
2.11.3.2.- Presión dinámica y total	62
2.11.3.3.- Temperaturas	63
2.12.- CÁLCULO DE LA POTENCIA NECESARIA	65
2.13.- SELECCIÓN DEL VENTILADOR SOPLADOR.....	66
2.13.1.- DIMENSIONES DEL VENTILADOR	67
2.14.- DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DEL TUBO DE COBRE	68
2.14.1.- SELECCIÓN DEL ALAMBRE DE RESISTENCIA TERMICA Y DISEÑO DEL CIRCUITO.....	68

CAPÍTULO III

DISEÑO MECÁNICO

3.1.- PARÁMETROS DE DISEÑO	71
3.2.- DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA	72
3.2.1.- DISEÑO DEL EJE	72
3.2.2.- SELECCIÓN Y TIPO DE LA POLEA.....	75
3.2.2.1.- Material de la polea	76
3.2.3.- SELECCIÓN DE BANDAS	77
3.2.3.1.- Factor de servicio	77
3.2.3.2.- Potencia teórica (Pt)	77
3.2.3.3.- Potencia de diseño (Pd)	78
3.2.3.4.- Sección de banda	78
3.2.3.5.- Relación de transmisión	78
3.2.3.6.- Potencia nominal de la banda	78
3.2.3.7.- Distancia tentativas entre ejes	79
3.2.3.8.- Longitud de la correa.....	79
3.2.3.9.- Selección de la longitud de banda estándar	80
3.2.3.10.- Cálculo del ángulo de contacto.....	81
3.2.3.11.- Cálculo de la potencia nominal corregida	81

3.3.- SELECCIÓN DE MATERIALES PARA EL TÚNEL, LA ZONA DE PRUEBAS Y EL DIFUSOR	82
3.3.1.- MATERIAL DE LAS PIEZAS DEL TÚNEL	82
3.3.2.- MATERIAL DE LA ZONA DE PRUEBAS	83
3.3.3.- material de la pieza del soporte del ventilador	84
3.4.- SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA ZONA DE PRUEBAS	85
3.4.1.- MATERIAL DE LOS TUBOS DE SIMULACIÓN	85
3.4.2.- TUBO DE COBRE.....	86
3.5.- DISEÑO DE LA BANCADA	87
3.5.1.- ANALISIS DE TENSION Y DEFORMACIÓN EN LA BANCADA.....	89
3.5.1.1.- Tensiones σ	90
3.5.1.2.- Desplazamientos.....	91

CAPÍTULO IV

DISEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

4.1.- SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO	94
4.2.- SELECCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS	95
4.2.1.- PIC16F87X.....	96
4.2.2.- SENSOR LM35DZ	97
4.2.3.- DISPLAY 4x20 CON BACKLIGHT.....	99
4.2.3.1.- Características.....	99
4.2.3.2.- Especificaciones Técnicas	99
4.2.4.- TECLADO MATRICIAL 4x4	100
4.2.5.- OSCILADOR	101
4.2.6.- ANEMÓMETRO	101
4.2.7.- CAUDALÍMETRO DE PRESIÓN DIFERENCIAL.....	103
4.2.7.1.- Especificaciones	103
4.2.8.- CONTROLADOR UNIVERSAL	104
4.2.8.1.- Especificaciones	104
4.2.9.- TRANSMISOR DE PRESIÓN (616-1)	105

4.3.- DISEÑO DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO	107
4.3.1.- HERRAMIENTAS PARA EL DISEÑO ELECTRÓNICO, PROGRAMACIÓN, SIMULACIÓN Y CONSTRUCCIÓN	107
4.3.1.1.- Microcode studio all versions.....	107
4.3.1.2.- ISIS 6 professional	108
4.3.2.- CIRCUITO DEL SENSOR DE TEMPERATURA	109
4.3.3.- CONEXIÓN DE LA PANTALLA DISPLAY.....	110
4.3.4.- CONEXIÓN DEL TECLADO MATRICIAL.....	112
4.3.5.- ESQUEMA ELECTRÓNICO TOTAL DEL CIRCUITO	114
4.3.6.- DISEÑO DE LA PLACA DEL CIRCUITO	115
4.4.- DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL DE POTENCIA.....	115
4.5.- ELABORACIÓN DEL PROGRAMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	116

CAPÍTULO V

CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLAJE

5.1.- CONSTRUCCIÓN DE LA BANCADA	121
5.2.- ENSAMBLE DE ELEMENTOS MECÁNICOS	123
5.3.- ENSAMBLE DE ELEMENTOS ELECTRÓNICOS Y ELÉCTRICOS	131
5.3.1.- INSTALACIÓN DEL CALENTADOR	131
5.3.2.- INSTALACIÓN DE CAJETÍN Y SENSORES.....	132
5.3.3.- INSTALACIÓN SWITCH DE CONTROL.....	134
5.3.4.- INSTALACIÓN CONTROLADOR UNIVERSAL Y TRANSMISOR DE PRESIÓN.....	136
5.4.- ENSAMBLE DE ELEMENTOS HIDRÁULICOS	138
5.5.- VISTA GENERAL DEL BANCO DE PRUEBAS	140

CAPÍTULO VI

PRUEBAS, INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN

6.1.- PRUEBAS DE ENSAYO	141
6.1.1.- ECUACIONES DE CÁLCULOS	143

6.1.1.1.- Ejemplo de cálculos.....	144
6.1.1.2.- Graficas Tiempo vs $\text{Log}_{10}(T-T_A)$	159
6.1.1.3.- Gráfica Nusselt vs Reynolds	161
6.2.- INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	162
6.1.1.- DISTRIBUCIÓN DE LOS TUBOS DE NYLON EN LA ZONA DE PRUEBAS	162
6.1.2.- ENCENDIDO DE LOS EQUIPOS ELECTRÓNICOS Y ELÉCTRICOS	163
6.1.2.1.- Encendido del circuito de temperaturas	163
6.1.2.2.- Encendido del controlador de presión	164
6.1.2.3.- Encendido del calentador e introducción del eje de cobre	164
6.1.2.4.- Encendido del Motor eléctrico	165
CONCLUSIONES	166
RECOMENDACIONES	168
BIBLIOGRAFÍA	169

ANEXOS A *Planos de elementos del intercambiador de calor*

ANEXOS B *Tablas, gráficas y especificaciones banda DAYCO*

ANEXOS C *Especificaciones del motor WEG*

ANEXOS D *Especificaciones PIC16F877A y LM35DZ*

ANEXOS E *Especificaciones anemómetro EXTECH, trasmisor 616-1, controlador C21, caudalímetro de presión DS300*

ANEXOS F *Programa de control de temperaturas MICROCODE*

ANEXOS G *Guía de práctica y tabla de propiedades del aire*

INDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1.1.– Intercambiador de calor; a) flujo paralelo b) flujo contracorriente	27
Figura 1.2.– Intercambiador de calor; a) con aletas b) sin aletas.....	27
Figura 1.3.– Intercambiador de calor con coraza y tubos	28
Figura 1.4.– Intercambiadores de calor compactos	29
Figura 1.5.– Intercambiador de calor con aletas	30
Figura 1.6.– a) con aletas b) sin aletas	30
Figura 1.7.– Flujo laminar en tubería	33
Figura 1.8.– Flujo turbulento en tubería	34
Figura 1.9.– Grafica del teorema de Bernoulli	35
Figura 1.10.– Tubo de pitot	36

CAPÍTULO II

Figura 2.1.- Ventana de SolidWorks	38
Figura 2.2.- Ventana de CosmosWorks	39
Figura 2.3.- Ventana de FloWorks.....	40
Figura 2.4.- Elementos que componen el intercambiador de calor	43
Figura 2.5.- Cono de succión; a) Parábola de diseño b) paredes de cono	44
Figura 2.6.- Medida frontal Cono de succión	45
Figura 2.7.- Túnel de Ingreso.....	45
Figura 2.8.- Vista frontal túnel de ingreso	46
Figura 2.9.- Vistas zona de pruebas.....	46

Figura 2.10.- Zona de pruebas	47
Figura 2.11.- Vista frontal y posterior del difusor	48
Figura 2.12.- Vista lateral del difusor	48
Figura 2.13.- Vista frontal y lateral del soporte del ventilador	49
Figura 2.14.- Soporte con ventilador	49
Figura 2.15.- Vistas Estrangulador	50
Figura 2.16.- Cajetín Estrangulador.....	50
Figura 2.17.- Estrangulador	51
Figura 2.18.- Vista en 3D Estrangulador	51
Figura 2.19.- Placa de Estrangulación	52
Figura 2.20.- Placa de Estrangulación graduada.....	52
Figura 2.21.- Gráfica de turbulencia con la placa al 10%	54
Figura 2.22.- Gráfica de presión dinámica apertura 10%	55
Figura 2.23.- Gráfica de presión total apertura 10%	56
Figura 2.24.- Gráfica de temperaturas apertura 10%	57
Figura 2.25.- Gráfica de turbulencia con la placa al 50%	58
Figura 2.26.- Gráfica de presión dinámica apertura 50%	59
Figura 2.27.- Gráfica de presión total apertura 50%	59
Figura 2.28.- Gráfica de temperaturas apertura 50%	60
Figura 2.30.- Gráfica de presión dinámica apertura 100%	62
Figura 2.31.- Gráfica de presión total apertura 100%	63
Figura 2.32.- Gráfica de temperaturas apertura 100%	64
Figura 2.33.- Área del túnel	65
Figura 2.34.- Ventilador.....	66
Figura 2.35.- Medidas del ventilador.....	67
Figura 2.36.- Tubería metálica.....	68
Figura 2.37.- Resistencia térmica	70

CAPÍTULO III

Figura 3.1.- Diagrama del eje y apoyos de rodamientos	73
Figura 3.2.- Diagrama de fuerzas.....	74
Figura 3.3.- Diagrama de esfuerzos	74
Figura 3.4.- Diagrama de momentos	74
Figura 3.5.- Polea acanalada	75
Figura 3.6.- Dimensiones de la polea del motor y del ventilador	76
Figura 3.7.- Fibra de vidrio.....	82
Figura 3.8.- Soporte en acero inoxidable.....	84
Figura 3.9.- Tubo de nylon	85
Figura 3.10.- Tubos en zona de pruebas	86
Figura 3.11.- Tubo de cobre.....	86
Figura 3.12.- Estructura de la bancada	87
Figura 3.13.- Medidas de la bancada	88
Figura 3.14.- Montaje de banco de pruebas en bancada.....	88
Figura 3.15.- Ingreso de parámetros COSMOSWorks	90
Figura 3.16.- Resultados de tensiones COSMOSWorks	90
Figura 3.17.- Resultados de desplazamientos COSMOSWorks.....	92
Figura 3.18.- Resultados desplazamientos vista lateral de cargas COSMOSWorks	92
Figura 3.19.- Resultados de desplazamientos vista frontal.....	93

CAPÍTULO IV

Figura 4.1.- Motor eléctrico.....	94
Figura 4.2.- PIC 16F87X	96
Figura 4.3.- Diagrama de pines.....	96
Figura 4.4.- Sensor LM35.....	97
Figura 4.5.- Pines LM35.....	98
Figura 4.6.- Display	99
Figura 4.7.- a) Diagrama; b) Teclado	100
Figura 4.8.- Cristal 4MHz.....	101

Figura 4.9.- Termo Anemómetro.....	101
Figura 4.10.- Sensor de Flujo.....	103
Figura 4.11.- Controlador Universal.....	104
Figura 4.12.- Transmisor de presión 616-1.....	105
Figura 4.13.- MicroCode Studio all versions.....	107
Figura 4.14.- MicroCode Studio all versions.....	108
Figura 4.15.- LM35 conexión.....	109
Figura 4.16.- Conexión del lm35 hacia el Pic.....	109
Figura 4.17.- Esquema eléctrico LM35DZ.....	110
Figura 4.18.- Conexión del DISPLAY.....	110
Figura 4.19.- Esquema eléctrico DISPLAY.....	111
Figura 4.20.- Conexión del teclado hacia el Pic.....	112
Figura 4.21.- Esquema eléctrico del teclado matricial.....	113
Figura 4.22.- Esquema eléctrico de todo el circuito.....	114
Figura 4.23.- Baquelita.....	115
Figura 4.24.- Circuito de control de potencia.....	116

CAPÍTULO V

Figura 5.1.- Estructura metálica.....	121
Figura 5.2.- Plancha metálica mesa.....	122
Figura 5.3.- Tapa de madera mesa.....	122
Figura 5.4.- Cajón metálico.....	122
Figura 5.5.- Banda.....	123
Figura 5.6.- Eje del ventilador.....	123
Figura 5.7.- Motor.....	123
Figura 5.8.- Ventilador.....	123
Figura 5.9.- Cono de succión.....	123
Figura 5.10.- Tunel de ingreso.....	123
Figura 5.11.- Zona de pruebas.....	124

Figura 5.12.- Difusor	123
Figura 5.13.- Soporte ventilador	124
Figura 5.14.- Estrangulador	124
Figura 5.15.- Placa estranguladora	124
Figura 5.16.- Sujeción del motor	125
Figura 5.17.- Sujeción de polea al eje.....	125
Figura 5.18.- Banda en el soporte	125
Figura 5.19.- Eje en el soporte	101
Figura 5.20.- Tapa del soporte	101
Figura 5.21.- Anillos de retención	126
Figura 5.22.- Sujeción de soporte	127
Figura 5.23.- Montaje ventilador	127
Figura 5.24.- Instalación de banda a polea	128
Figura 5.25.- Sujeción soporte estrangulador	128
Figura 5.26.- Regulación en porcentajes	129
Figura 5.27.- Instalación difusor.....	129
Figura 5.28.- Instalación zona de pruebas	130
Figura 5.29.- Armado de la zona de pruebas	130
Figura 5.30.- Instalación cono de succión	130
Figura 5.31.- Cable de resistencia.....	131
Figura 5.32.- Sujecion a la mesa.....	131
Figura 5.33.- Carcasa calentador	131
Figura 5.34.- Tapas calentador	132
Figura 5.35.- Soporte	132
Figura 5.36.- Eje de cobre con sensor.....	133
Figura 5.37.- Sensor encapsulado.....	133
Figura 5.38.- Agujero túnel de ingreso	133
Figura 5.39.- Instalacion del sensor	133
Figura 5.40.- Switch.....	134
Figura 5.41.- Sujeción del cajetín	134

Figura 5.42.- Switch armado.....	135
Figura 5.43.- Switch del calentador	135
Figura 5.44.- Switch del motor	135
Figura 5.45.- Controlador Universal.....	136
Figura 5.46.- Switch del controlador	136
Figura 5.47.- Orificio del interruptor	136
Figura 5.48.- Conexión de los pines	137
Figura 5.49.- Fijación del transmisor.....	137
Figura 5.50.- Controlador encendido.....	138
Figura 5.51.- Orificio de tubo	138
Figura 5.52.- Perno de sujeción de tubo	139
Figura 5.53.- Conductos del tubo de pitot	139
Figura 5.54.- Sujeción del tubo.....	140
Figura 5.55.- Tubo de pitot	140
Figura 5.56.- Banco de Pruebas	140

CAPÍTULO VI

Figura 6.1.- Posiciones del eje de cobre	141
Figura 6.2.- Distribución de tubos	163
Figura 6.3.- Encendido del indicador.....	163
Figura 6.4.- Indicador de temperaturas.....	163
Figura 6.5.- Encendido del controlador	164
Figura 6.6.- Valor de presión (in H ₂ O).....	164
Figura 6.7.- Encendido calentador.....	165
Figura 6.8.- Introducción del eje.....	165
Figura 6.9.- Encendido motor eléctrico	165

INDICE DE TABLAS

CAPÍTULO II

Tabla II.1.- Parámetros de diseño.....	41
Tabla II.2.- Datos de ingreso del aire al túnel	53
Tabla II.3.- Tipos de ventiladores	65
Tabla II.4.- Características técnicas del ventilador	67
Tabla II.5.- Características técnicas de la resistencia térmica	70

CAPÍTULO III

Tabla III.1.- Características del material de la polea	77
Tabla III.2.- Banda Dayco.....	80
Tabla III.3.- Características de la fibra de vidrio A	82
Tabla III.4.- Características del plexiglás.....	83
Tabla III.5.- Características del acero inoxidable	84
Tabla III.6.- Características del Nylon	85
Tabla III.7.- Características del cobre.....	87

CAPÍTULO IV

Tabla IV.1.- Especificaciones motor	94
Tabla IV.2.- Elementos electrónicos y eléctricos de obtención de datos.....	95
Tabla IV.3.- Especificaciones del anemómetro.....	102
Tabla IV.4.- Modelos y rangos del transmisor de presión 616	105

Tabla IV.5.- Características del transmisor de presión 616-1	106
--	-----

CAPÍTULO VI

Tabla VI.1.- Nomenclatura de la práctica	142
Tabla VI.2.- Tabla de datos: primera posición, 100% apertura	144
Tabla VI.3.- Propiedades del aire a 285.6 °K	145

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1.- INTRODUCCIÓN

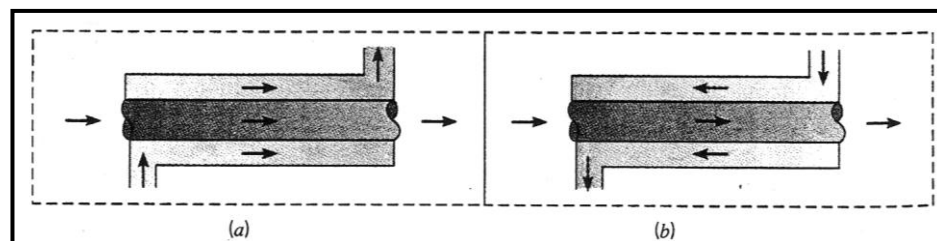
El intercambio de calor entre dos fluidos con diferentes temperaturas separados por una pared sólida, es un fenómeno muy común en el campo de la ingeniería y por

supuesto la ingeniería automotriz y nuestro propósito es estudiarla conocerla y darle un uso apropiado para nuestras maquinas y necesidades. El dispositivo que realiza esta tarea se denomina intercambiador de calor.

Este aparato se aplica en lugares como locales cerrados con aire acondicionados, la producción de potencia, recuperación de calor no utilizados y procesos químicos entre otros. Nuestra rama automotriz la utiliza en tres formas antes descritas necesarias en el funcionamiento del compendio automóvil, la calefacción dentro de la cabina o cockpit generando un clima y ambiente de agrado del conductor, la producción de potencia, recuperación de calor no utilizado.

1.2.- TIPOS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR¹

Estos se clasifican con respecto al arreglo del flujo y el tipo de construcción, así tenemos el más sencillo del tipo doble tubo o tubos concéntricos en el cual el fluido caliente y el frío se mueven dentro de cada tubo con dirección opuesta o en la misma dirección, el flujo paralelo (a) entra y sale por el mismo extremo y el contraflujo (b) por extremos opuestos fluyen en direcciones opuestas y salen por extremos opuestos.



¹ DE WITT David, Fundamentos de transferencia de calor, 4ta edición, Pág. 582.

Figura 1.1. – Intercambiador de calor; a) flujo paralelo b) flujo contracorriente

Otro tipo es el de flujo cruzado en el cual las direcciones de flujo son paralelas entre sí indistintamente de la dirección en que se muevan, es tubular pudiendo ser con ambos fluidos sin mezclar (a) y con aletas o con un fluido mezclado y el otro sin mezclar y sin aletas (b); el fluido es mezclado cuando este fluye libremente a través del banco de tubos y el fluido es sin mezclar debido a la presencia de aletas que guían su movimiento.

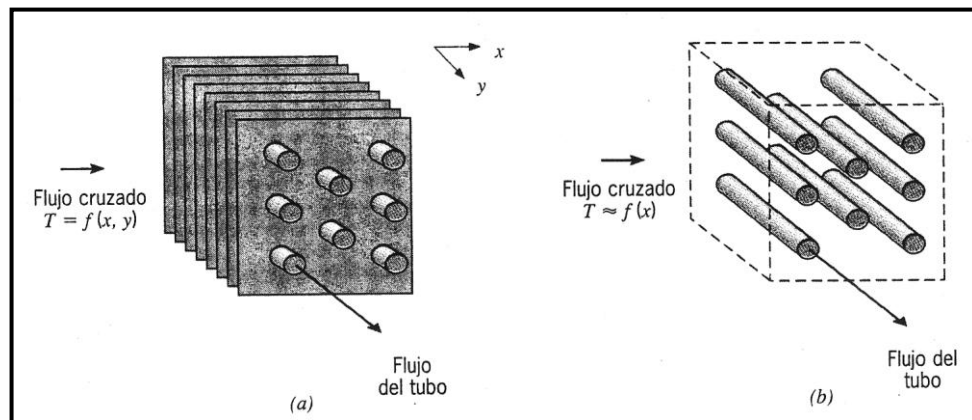


Figura 1.2. – Intercambiador de calor; a) con aletas b) sin aletas

Otro tipo de intercambiador de calor son los de coraza y tubos, en el cual el tubo entra y sale dentro de una coraza por la cual se mueve el segundo fluido, las veces que el tubo entra o sale de la coraza se cuenta como paso de coraza, y la entrada y salida del tubo se conoce cada una como entrada de tubo.

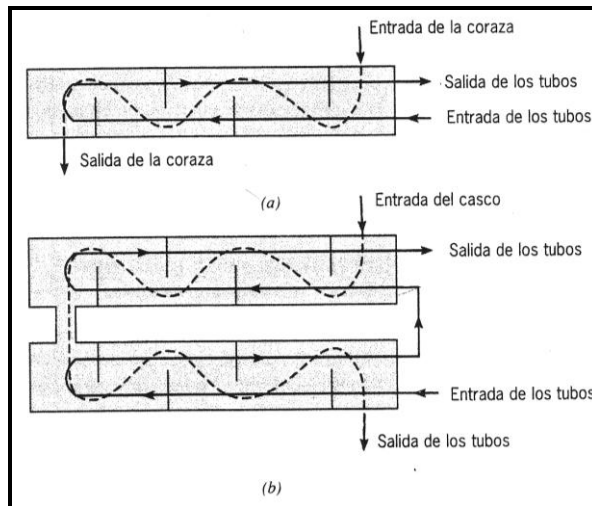


Figura 1.3. – Intercambiador de calor con coraza y tubos

Pudiendo haber tantas entradas de coraza como el doble de entradas de tubo, por lo general se instalan deflectores dentro del recorrido del fluido de la coraza para aumentar el coeficiente de convección del fluido del lado de la coraza al inducirse la turbulencia en su camino.

Por último están los intercambiadores de calor llamados compactos, estos contienen arreglos de tubos con aletas y placas muy complejos y por lo general se utilizan cuando uno de los fluidos es un gas con un coeficiente de convección muy pequeño.

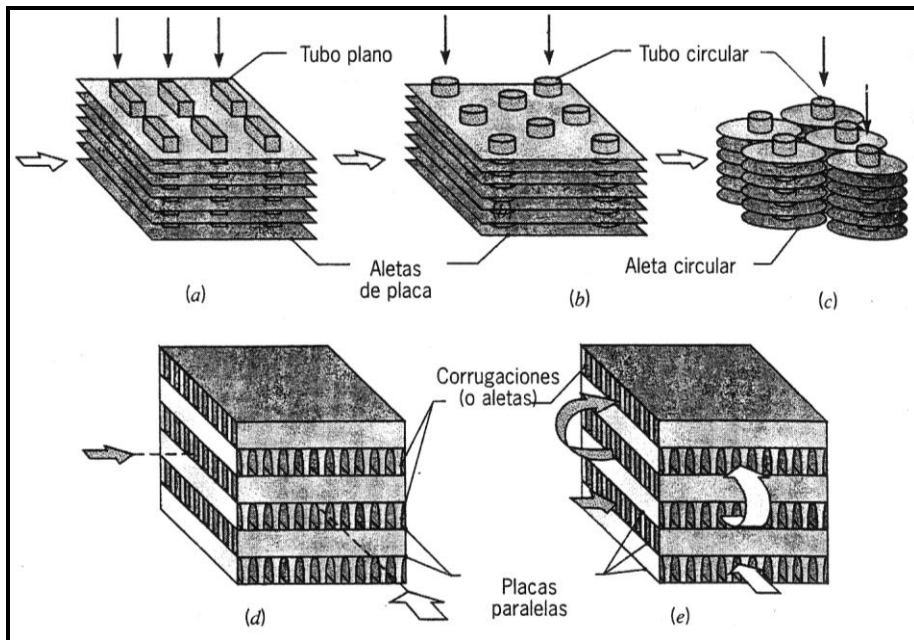


Figura 1.4. – Intercambiadores de calor compactos

Los tubos pueden ser planos (a) o circulares (b, c), las aletas pueden ser de placa (a;b) o circulares (c), también pudiendo ser con aletas o corrugadas (d, c) y su modo de operación puede ser de un solo paso (d) o multipasos (c).

1.3.- FUNCIONAMIENTO DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR DE FLUJO CRUZADO

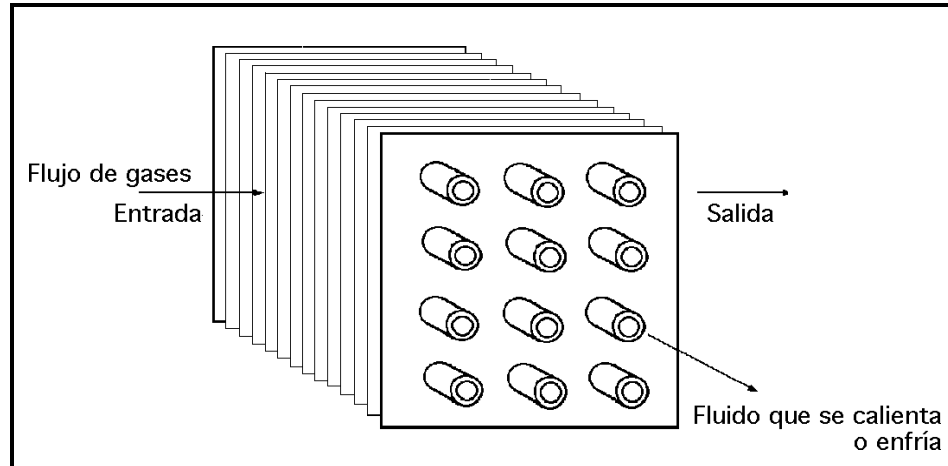


Figura 1.5. – Intercambiador de calor con aletas

En el enfriamiento o calentamiento en un intercambiador de calor en flujo cruzado, uno de los fluidos (líquido o gas) circula por el interior de los tubos, mientras que al otro fluido (gaseoso) se le obliga a circular perpendicularmente al haz de tubos.

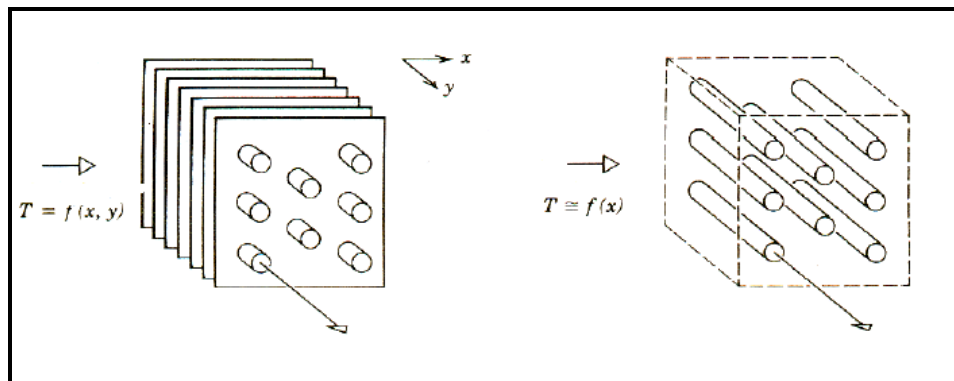


Figura 1.6. – a) con aletas b) sin aletas

El flujo del fluido exterior puede realizarse mediante convección forzada o libre es decir se puede obligar al aire a circular a través de los tubos (forzada) o el propio ambiente lo realiza (libre), aquí el fluido externo en contacto con los tubos realiza la transferencia de calor.

1.4.- NÚMERO DE REYNOLDS, NUSSELT, PRANDTL, FLUJO LAMINAR Y TURBULENTO²

En el diseño y construcción del presente banco de pruebas deberemos tomar en cuenta el tipo de flujo de aire que proponemos que ingrese al banco de pruebas.

1.4.1.- NÚMERO DE REYNOLDS.

Es un número adimensional que se utiliza en la mecánica de fluidos para estudiar el movimiento de un fluido en el interior de una tubería, o alrededor de un obstáculo sólido. Se representa por Re .

El número de Reynolds puede ser calculado para cada conducción recorrida por un determinado fluido y es el producto de la velocidad V , la densidad del fluido δ y el diámetro de la tubería D , dividido entre la viscosidad del fluido η . Para un mismo valor de este número el flujo posee idénticas características cualquiera que sea la tubería o el fluido que circule por ella.

$$Re = \frac{V \cdot \delta \cdot D}{\eta} \quad \text{(Ecuación 1.1)}$$

² DESMOND Randall Mark, Transferencia de calor, 2da edición, Pág. 402.

Donde:

V : Velocidad de ingreso del fluido.

δ : Densidad del fluido.

n : viscosidad del fluido.

D : Diámetro de la tubería.

1.4.2.- NÚMERO DE NUSSELT.

Es un número adimensional que mide el aumento de la transmisión de calor desde una superficie por la que un fluido discurre (transferencia de calor por convección) comparada con la transferencia de calor si ésta ocurriera solamente por conducción.

$$Nu = \frac{h \cdot d}{k_f} \quad \text{(Ecuación 1.2)}$$

Donde:

h : Coeficiente de transferencia de calor.

d : Diámetro del elemento.

k_f : Conductividad térmica del fluido.

1.4.3.- NÚMERO DE PRANDTL.

El Número de Prandtl es un número adimensional proporcional al cociente entre la difusividad de momento (viscosidad) y la difusividad térmica.

$$Pr = \frac{c_p \cdot \mu}{k_f} \quad \text{(Ecuación 1.3)}$$

Donde:

C_p : Capacidad calorífica a presión constante.

μ : viscosidad del fluido.

k_f : Conductividad térmica.

1.4.4.- FLUJO LAMINAR

Se define al flujo laminar, al fluido que presenta en los cálculos del número de Reynolds un valor inferior a 2100, se denota como flujo laminar debido a que el movimiento del fluido se asemeja al de láminas que se deslizan unas sobre otras.

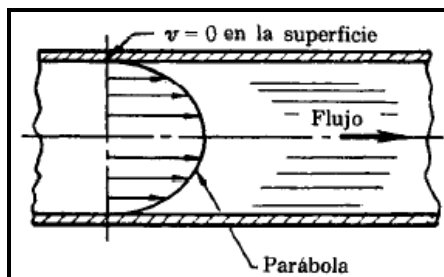


Figura 1.7. – Flujo laminar en tubería

La transferencia de calor en flujo laminar, hacia el tubo o conducto y también viceversa se realiza por conducción a través de la delgada capa superficial que está en contacto.

Hay un hecho real; debido a la imperfección de las superficies y sus rugosidades el flujo jamás será laminar por completo, es mas; el fluido al chocar contra las imperfecciones y salientes produce remolinos y corrientes en torbellinos, de manera tal que parte del fluido es atraído por los torbellinos y remolinos hacia la parte de contacto con la capa superficial y la pared del conducto, este choque produce la

liberación de energía o la recepción de la misma, así cierto calor es transmitido hacia o bien desde la pared por convección.

1.4.5.- FLUJO TURBULENTO

Se define como flujo turbulento al fluido que presenta un número de Reynolds mayor a 3000, El flujo turbulento se caracteriza por no tener una trayectoria definida.

El flujo turbulento presenta una capa muy delgada que llega a las milésimas o micras en medida de espesor adyacentes a las superficies del conducto que presenta movimiento laminar (figura 1.8 letra a), por debajo se encuentra una zona conocida como capa separadora o intermedia, con el espesor también de algunos cientos de micras, (figura 1.8 letra b).

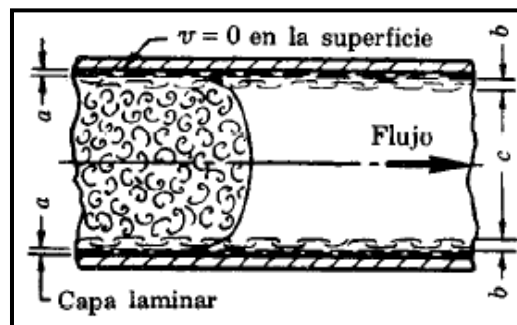


Figura 1.8. – Flujo turbulento en tubería

La masa principal del fluido tiene corriente turbulenta con partículas que se mueven en remolinos.

1.5.- TEOREMA DE BERNOULLI

El teorema de Bernoulli afirma que la energía total de un sistema de fluidos con flujo uniforme permanece constante a lo largo de la trayectoria de flujo. En un fluido hay tres formas de energía presentes, la energía potencial, la energía cinética y la energía de flujo. Si se asumen dos puntos a lo largo de la trayectoria distanciados uno del otro, la magnitud de las energías en un punto pueden variar con respecto al otro, pero la sumatoria total de las energías siempre será la misma.

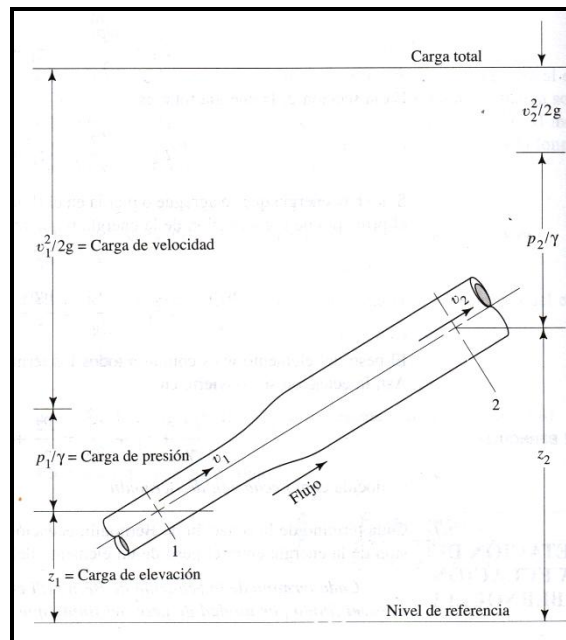


Figura 1.9. – Grafica del teorema de bernoulli

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2}{2g} \quad (\text{Ecuación 1.4})$$

La ecuación de Bernoulli se utiliza para determinar los valores de carga de presión, carga de elevación y cambio de la carga de velocidad, conforme el fluido circula a través del sistema.

1.6.- TUBO DE PITOT

El tubo de pitot es una sonda de presión cinética dirigida en el sentido del flujo, permite medir la presión estática y dinámica en un fluido. El dispositivo está perforado con pequeños orificios laterales suficientemente alejados del punto de parada (punto del flujo donde se anula la velocidad) para que las líneas de corriente sean paralelas a la pared. Esta sonda, combinada con una sonda de presión de impacto (perpendicular a la dirección de flujo), permite medir la presión y velocidad del fluido con respecto a la velocidad a la que entra.

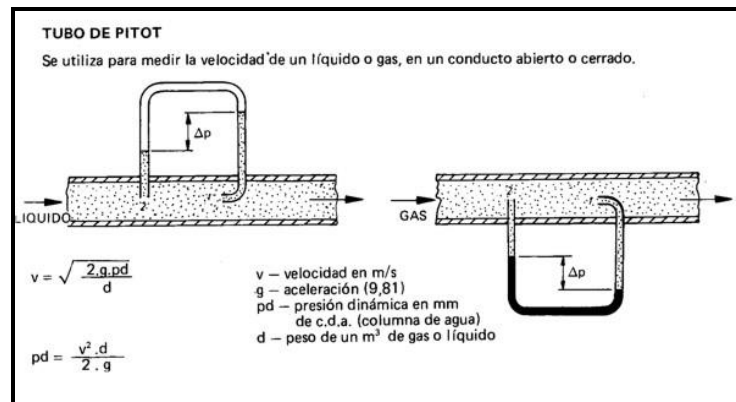


Figura 1.10. – Tubo de pitot

1.7.- MÉTODOS DE DISEÑO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR DE FLUJO CRUZADO

En las industrias de procesos, plantas de potencia o de actividades relacionadas, se adquieren cambiadores de calor como elementos independientes, y la selección se hace basándose en el costo y en las especificaciones que suministran los diferentes fabricantes.

En aplicaciones más especializadas, como son las industrias aeroespacial y electrónica, se exige con frecuencia un diseño en particular. Tanto si el intercambiador de calor se selecciona como elemento independiente, como si se diseña especialmente para la aplicación, casi siempre se tienen en cuenta los siguientes factores:

1. Necesidades de transferencia de calor.
2. Costo.
3. Tamaño físico.
4. Caídas de presión características.

La selección o el diseño de cualquier cambiador de calor en este caso de un intercambiador de calor de flujo cruzado, deben cubrir las necesidades de transferencia de calor.

CAPÍTULO II

MODELACIÓN, DISEÑO HIDRÁULICO Y TÉRMICO DEL INTERCAMBIADOR DE FLUJO CRUZADO

2.1.- HERRAMIENTAS PARA EL DISEÑO MECÁNICO

2.1.1.- SOLIDWORKS 2007

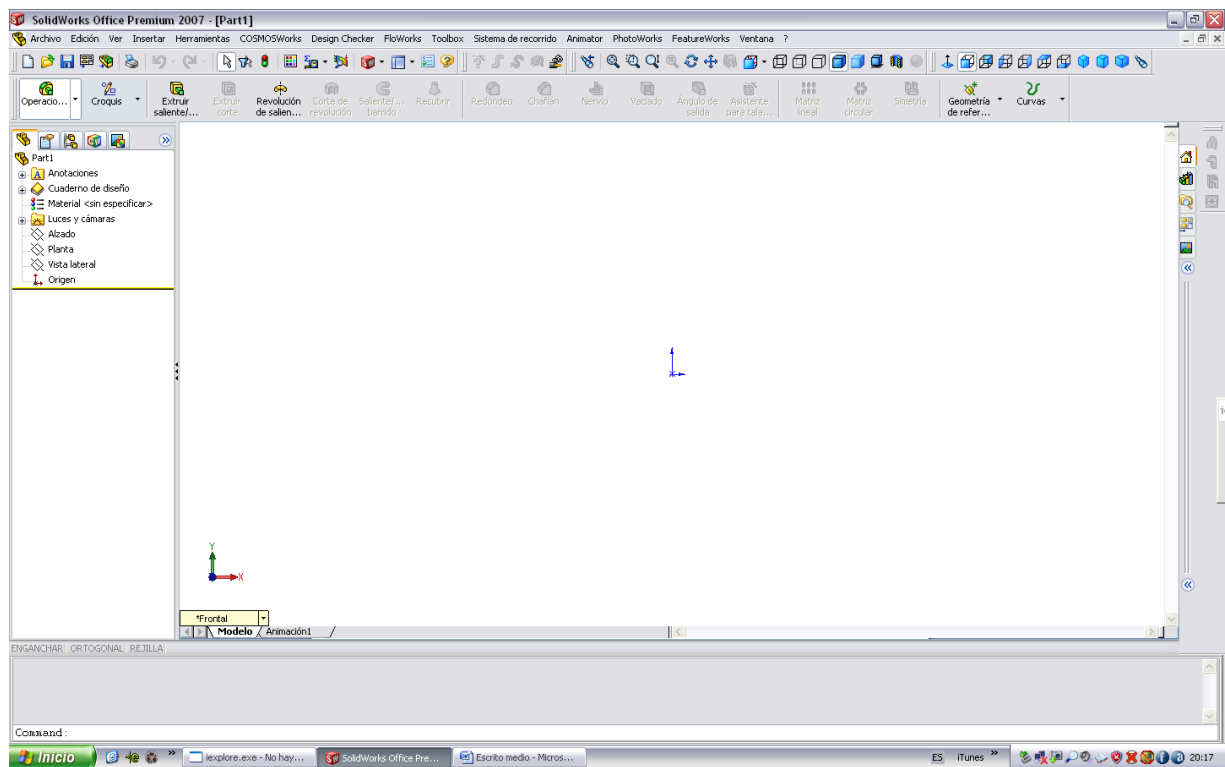


Figura 2.1.- Ventana de SolidWorks

SolidWorks es un software de diseño computarizado que permite la modelación de elementos y piezas, unirlos para crear elementos más complejos, su versatilidad se nota en las instrucciones sencillas e interactivas a la hora de modelar piezas y elementos de manera interactiva.

2.1.2.- COSMOSWORKS 2007

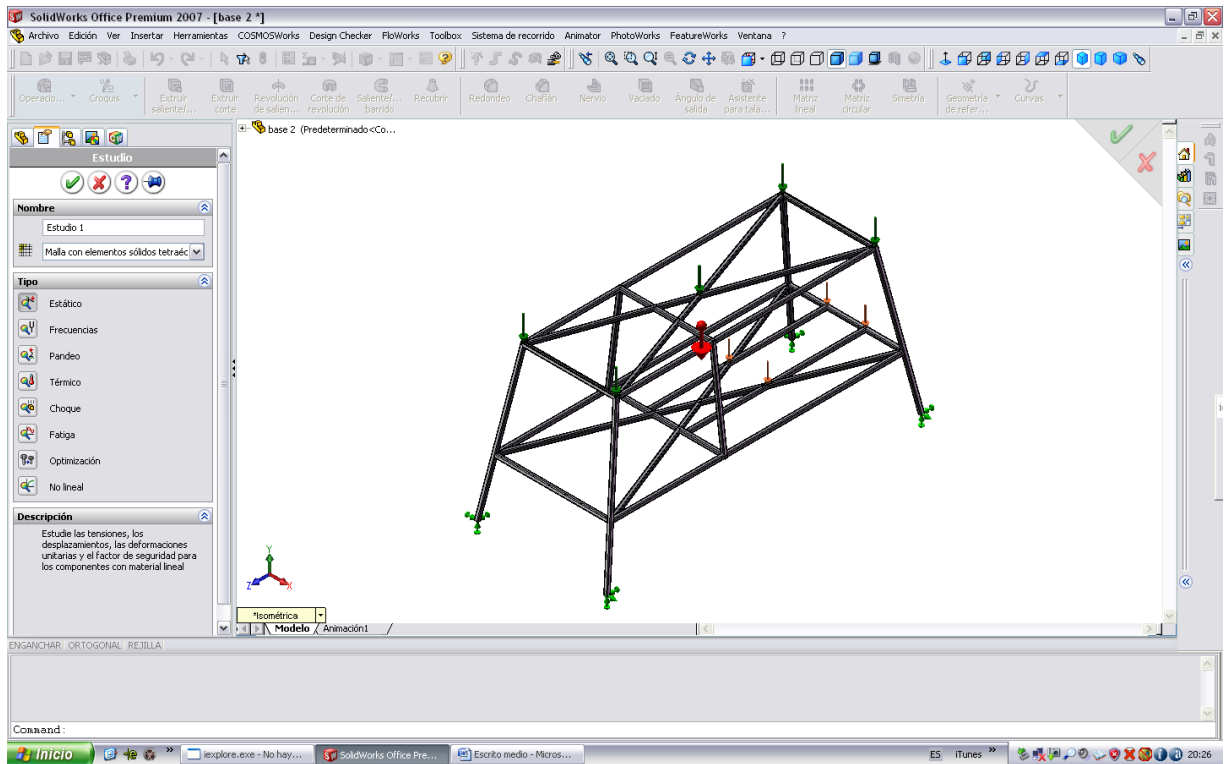


Figura 2.2.- Ventana de CosmosWorks

CosmosWorks es otra herramienta anexa a SolidWorks y se encarga de los análisis mecánicos de las piezas modeladas en SolidWorks mediante estudios estáticos, de frecuencias, pandeo, análisis térmico, choque, fatiga, de optimización de elementos, etc.

2.1.3.- FLOWWORKS 2007

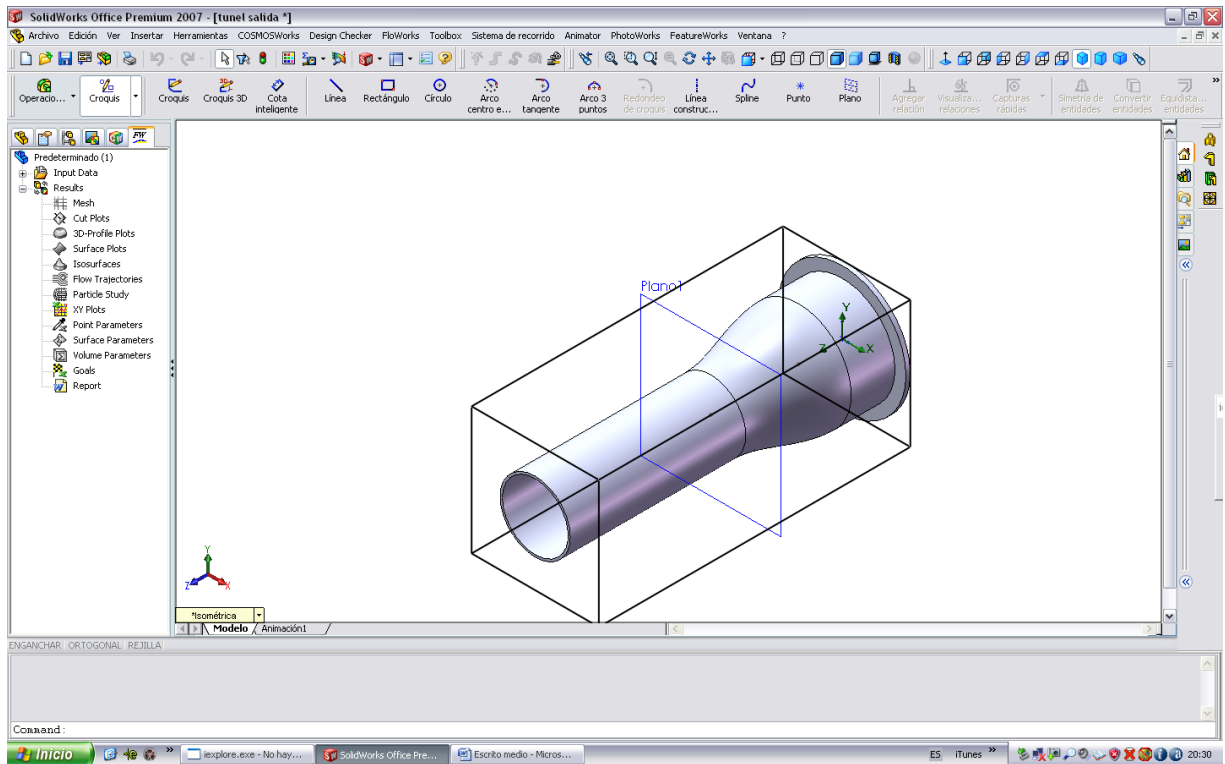


Figura 2.3.- Ventana de FloWorks

FloWorks es otra herramienta de SolidWorks, esta se encarga de hacer estudios aerodinámicos y de fluidos en piezas que requieran y se utilicen con este fin, el programa muestra de modo interactivo el o los fluidos con gran cantidad de parámetros como temperatura, presiones, densidades, turbulencia, viscosidad etc.

2.2.- PARÁMETROS DE DISEÑO

Puesto que existe una guía del equipo en la ESPE Sangolquí, se asumió muchos datos basados en este, uno de los datos a considerar fue la velocidad del aire a la que ingresa al equipo, en el equipo el aire ingresa a una velocidad de 17 a 18 m/s de a carga plena, este dato sirvió como base para las simulaciones en FloWorks que hablaremos más adelante. Además de esto se tomo otros datos como la temperatura que se calienta el tubo de cobre y la potencia del motor, datos guías que son la base del diseño.

Tabla II.1.- Parámetros de diseño

Velocidad de entrada del aire previo boca del túnel (plena carga)	8 – 10 m/s
Velocidad de entrada en el túnel (plena carga)	17 – 18 m/s
Temperatura media del aire al ingreso del túnel	17 °C
Temperatura de calentamiento del tubo de cobre	70 °C
Temperatura de la salida del aire (datos técnicos)	18.8 °C

2.3.- CÁLCULO DE FLUJO DE AIRE NECESARIO³

Para el cálculo de flujo de aire necesario y flujo másico partamos por indicar que tomaremos como base el ingreso de aire a 18 m/s hacia la zona de pruebas.

Ahora, si tenemos en cuenta que se dispone del área de la sección por la cual transita el aire y la densidad, en la ciudad de Latacunga podemos iniciar los cálculos de flujo de aire necesario.

³ MOTT Robert, Mecánica de Fluidos, Sexta edición, Pág. 555.

El caudal:

$$Q = \vec{V} \cdot A \quad \text{(Ecuación 2.1)}$$

Si la velocidad \vec{V} es igual a 18 m/s y el área A efectiva de la sección es de 0.01906 m², entonces:

$$Q = 0.34308 \left[\frac{m^3}{s} \right] = 726.94526 \left[\frac{ft^3}{min} \right]$$

Así mismo se tiene varios datos del aire a la altura de Latacunga como:

$$\text{presion atmosferica} = 1026.1 \text{ hPa}$$

$$\text{densidad del aire } (\delta) = 1.2298 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

El flujo másico \dot{m} es igual:

$$\dot{m} = \delta \cdot \vec{V} \cdot A \quad \text{(Ecuación 2.2)}$$

$$\dot{m} = 0.21919 \left[\frac{kg}{s} \right]$$

2.4.- ELEMENTOS DEL INTERCAMBIADOR DE FLUJO CRUZADO

A continuación se indican los elementos que constituyen el intercambiador de calor:

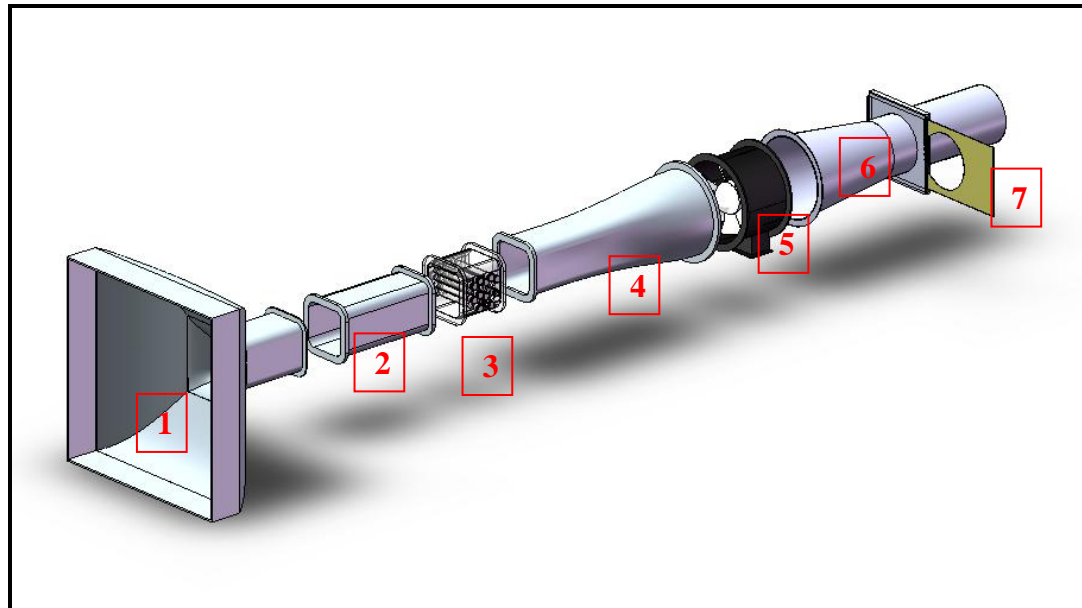


Figura 2.4.- Elementos que componen el intercambiador de calor

Elementos del intercambiador de calor:

- 1.- Cono de succión
- 2.- Túnel de ingreso
- 3.- Zona de pruebas
- 4.- Difusor
- 5.- Soporte del ventilador
- 6.- Estrangulador
- 7.- Placa de estrangulación

2.5.- MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DEL CONO DE SUCCIÓN

Para el modelado del cono de succión debemos tomar en cuenta que el banco de pruebas requiere de una fácil entrada del flujo de aire hacia el interior, para aquello se requiere que la pieza tenga la menor resistencia posible al ingreso de aire. La aerodinámica es fundamental, un diseño curvo permite al aire ingresar sin causar turbulencia hasta el interior del túnel.

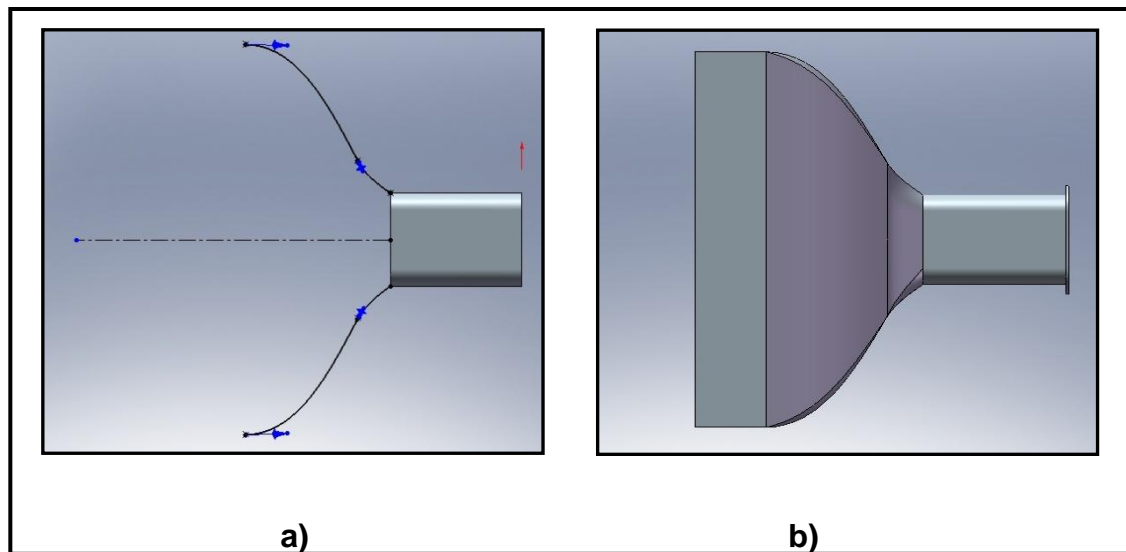


Figura 2.5.- Cono de succión; a) Parábola de diseño b) Paredes de cono

Las dimensiones del cono y demás piezas están en milímetros y se pueden observar claramente en las graficas inferiores así como su imagen tridimensional.

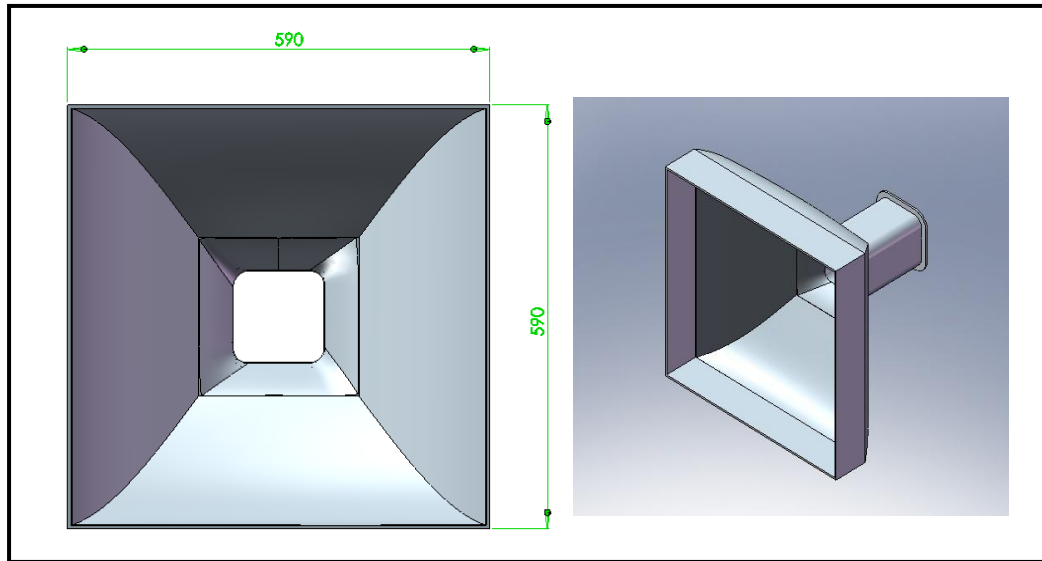


Figura 2.6.- Medida frontal cono de succión

2.6.- MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DEL TUNEL DE INGRESO

A continuación del cono de succión se une otra pieza en fibra de vidrio (túnel de ingreso), este tomara el aire al ingreso del cono de succión y lo guiara hacia la zona de prueba.

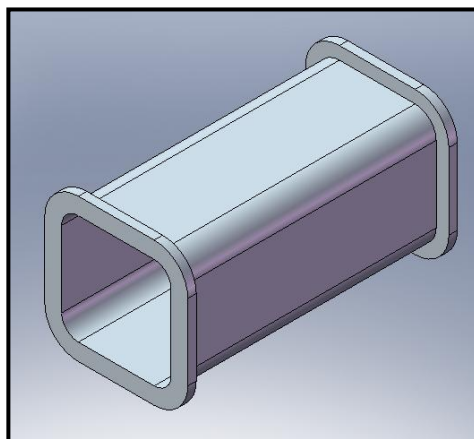


Figura 2.7.- Túnel de Ingreso

El túnel de ingreso se caracteriza por tener un diseño de sección curvado en las esquinas siempre evitando la generación de turbulencia hasta la zona de pruebas.

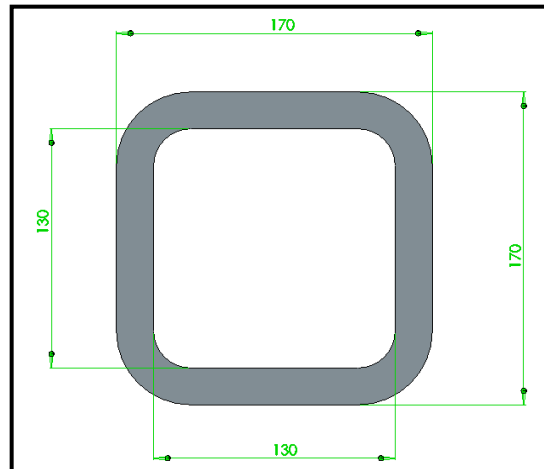


Figura 2.8.- Vista frontal túnel de ingreso

2.7.- MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DE LA ZONA DE PRUEBA

La zona de pruebas tiene las mismas dimensiones de perfil con respecto al túnel de ingreso, pero mucho menor en longitud, alberga al banco de tubos y un espacio pequeño mas para la ceja de ajuste.

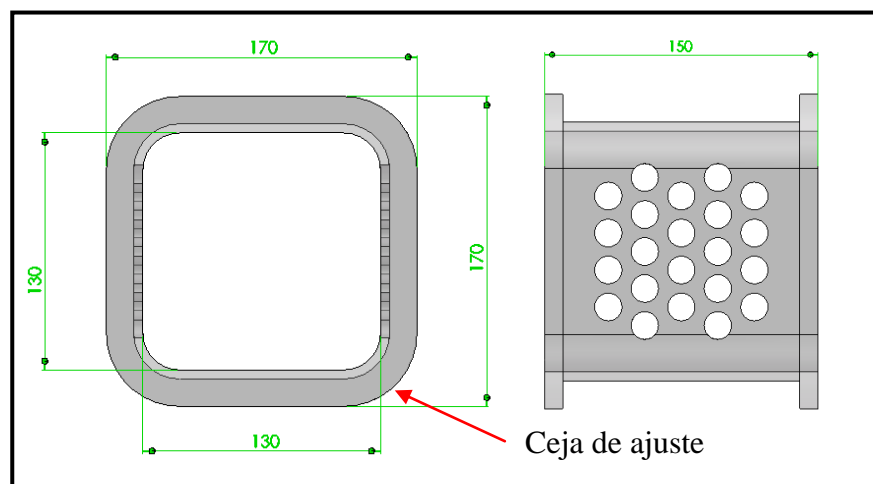


Figura 2.9.- Vistas zona de pruebas

En el modelado y diseño también constan los orificios para los tubos de nylon que miden 15 milímetros de radio perforados de lado a lado y con la separación longitudinal, vertical y diagonal como se indica en la figura 2.10.

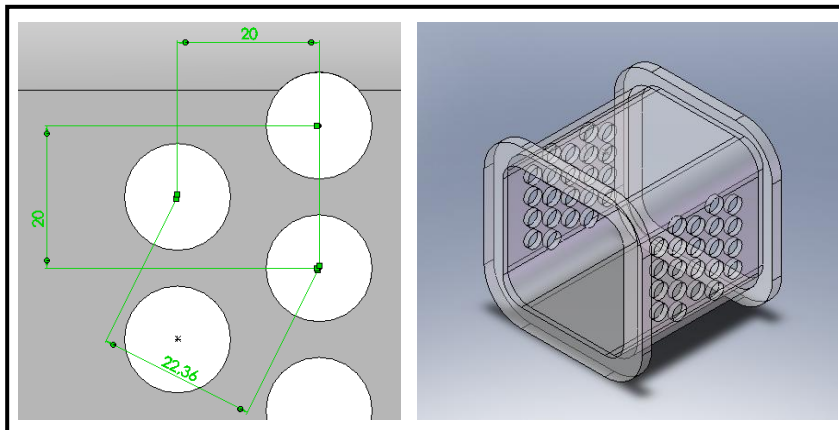


Figura 2.10.- Zona de pruebas

El orden en que se encuentran las perforaciones para los tubos es escalonado porque brinda una mayor transferencia de calor que un ordenamiento lineal, debido básicamente a la turbulencia que se genera al ingreso de aire y la envolvente que se produce por la desviación del fluido a través del banco de tubos.

2.8.- MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DEL DIFUSOR

Después de salir del banco de tubos el aire se dirige a través de una pieza de fibra de vidrio (difusor) que acopla con la zona de pruebas, se ajusta al diámetro circular del soporte del ventilador.

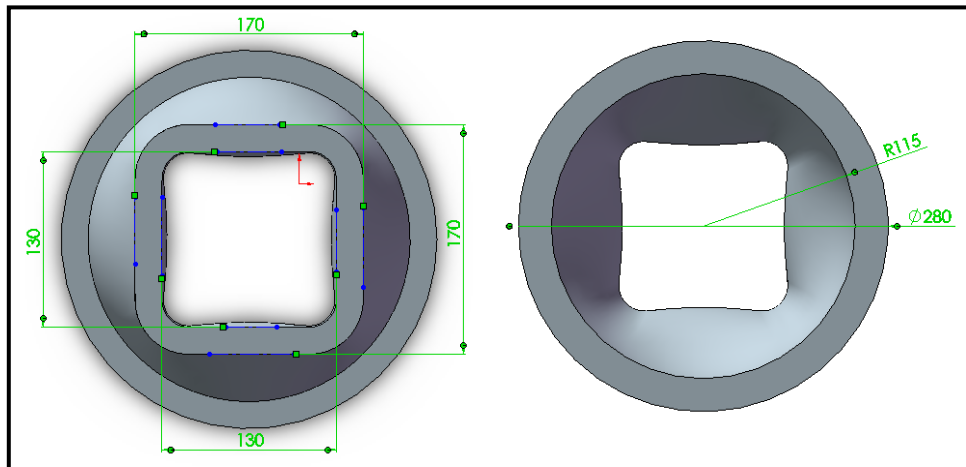


Figura 2.11.- Vista frontal y posterior del difusor

La vista lateral la pieza muestra esa transición del perfil cuadrado de la pieza de la zona de pruebas hacia el perfil circular del soporte del ventilador.

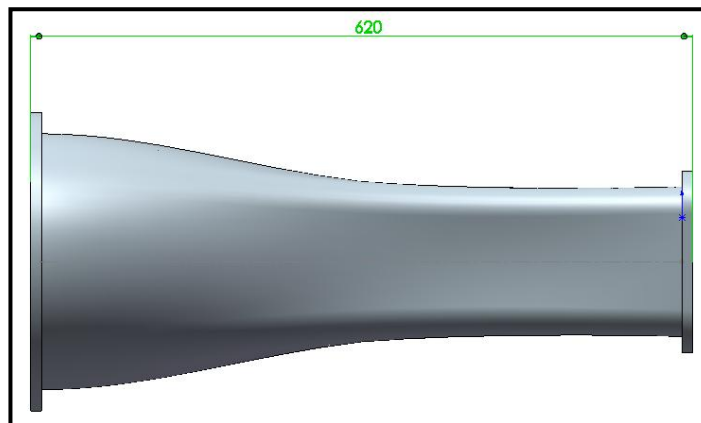


Figura 2.12.- Vista lateral del difusor

2.9.- MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DEL SOPORTE DEL VENTILADOR

El soporte del ventilador (figura 2.13) se acopla con el difusor (figura 2.12), canaliza el aire hacia el difusor y estrangulador por la parte posterior, además de retener el ventilador por medio de un cajetín soportado por tres radios.

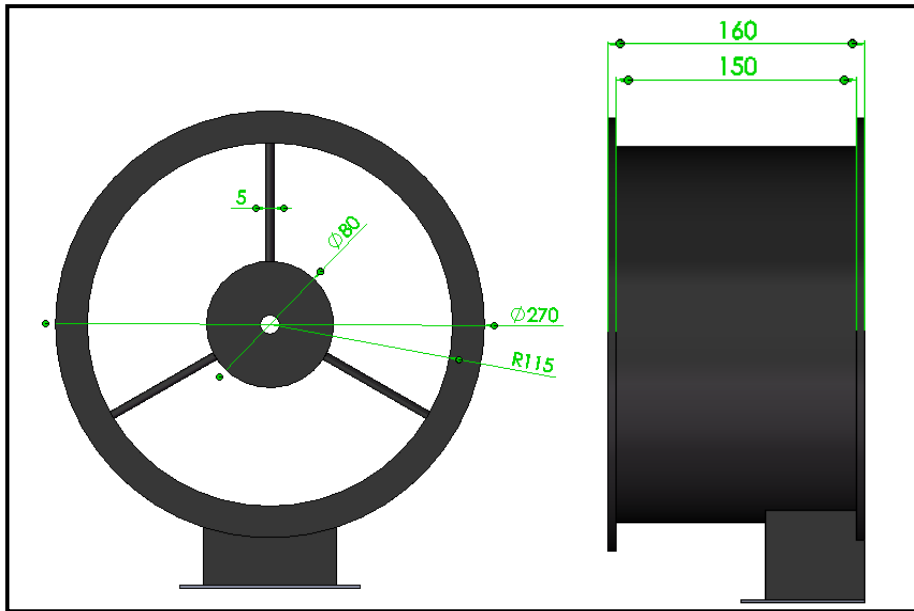


Figura 2.13.- Vista frontal y lateral del soporte del ventilador

El ventilador tiene una tolerancia de 1.5 milímetros hacia las paredes del soporte como dato de construcción.

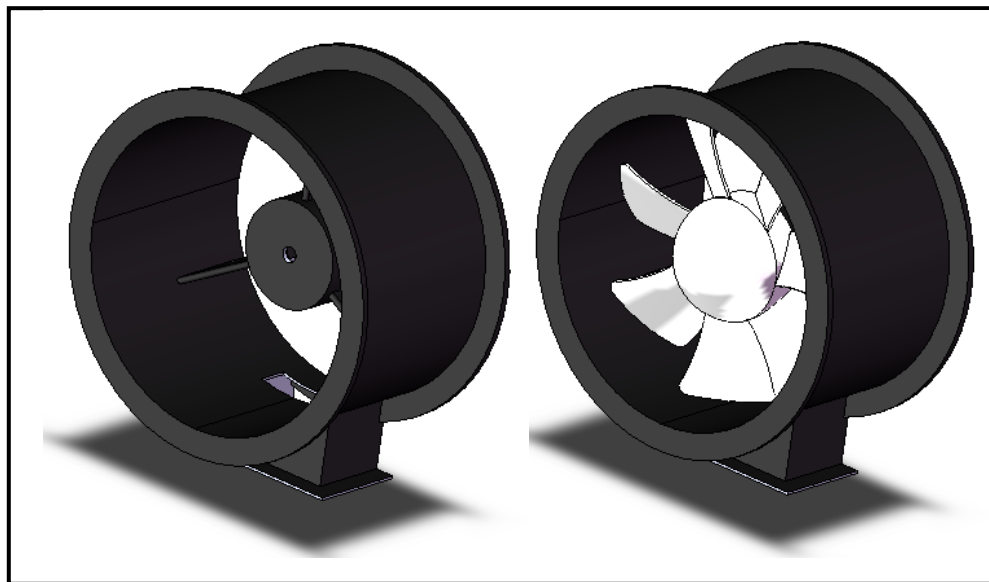


Figura 2.14.- Soporte con ventilador

2.10.- MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DEL ESTRANGULADOR

El estrangulador (figura 2.15) acopla directamente con el soporte (figura 2.14), consta con el cajetín de la placa de estrangulación y el tubo de estrangulación.

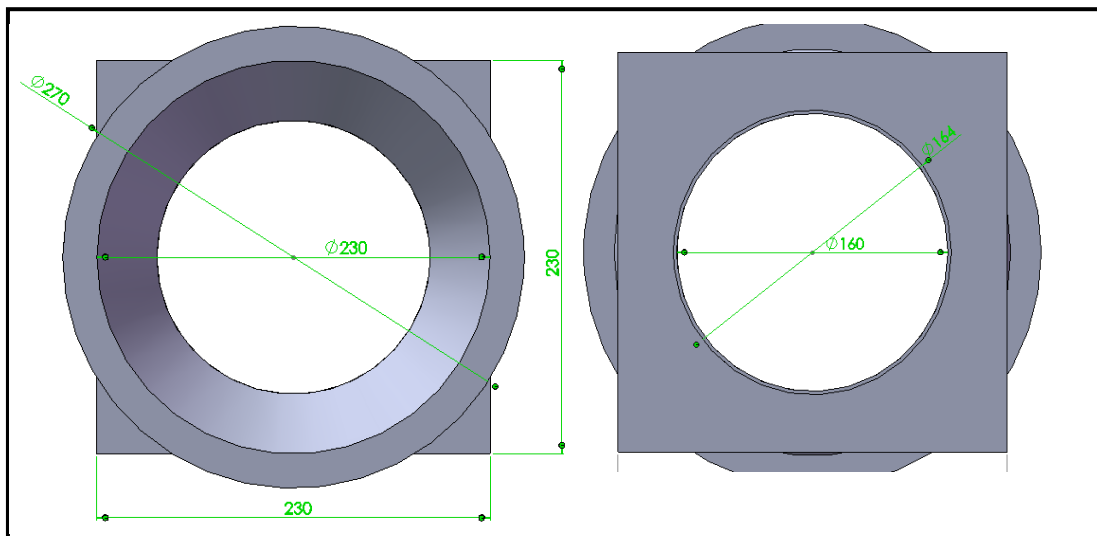


Figura 2.15.- Vistas estrangulador

El cajetín es de forma cuadrada de 230 milímetros y se ubica la ranura para la placa estranguladora.

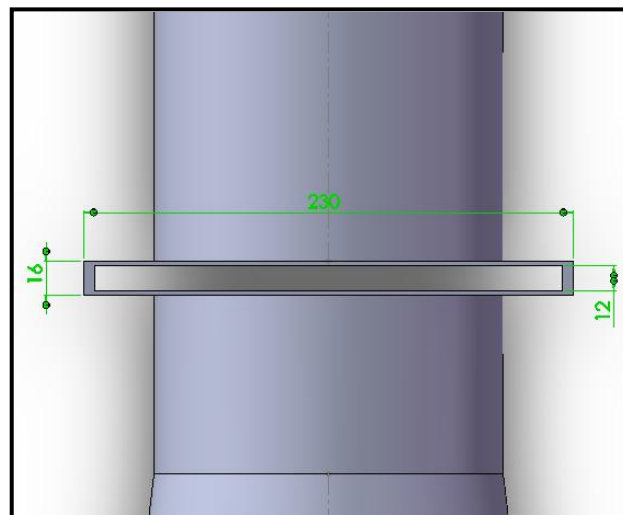


Figura 2.16.- Cajetín estrangulador

La longitud de toda la pieza fabricada en lámina de acero, empieza desde la pestaña hasta el final del tubo estrangulador y el cajetín en medio.

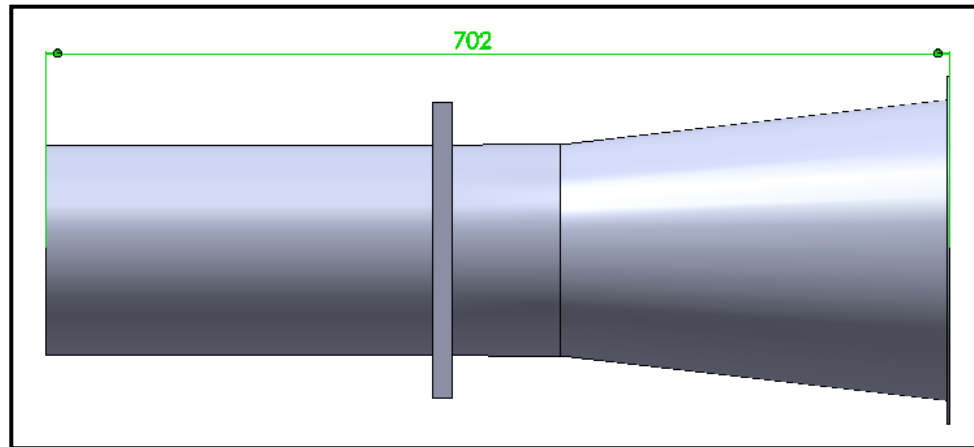


Figura 2.17.- Estrangulador

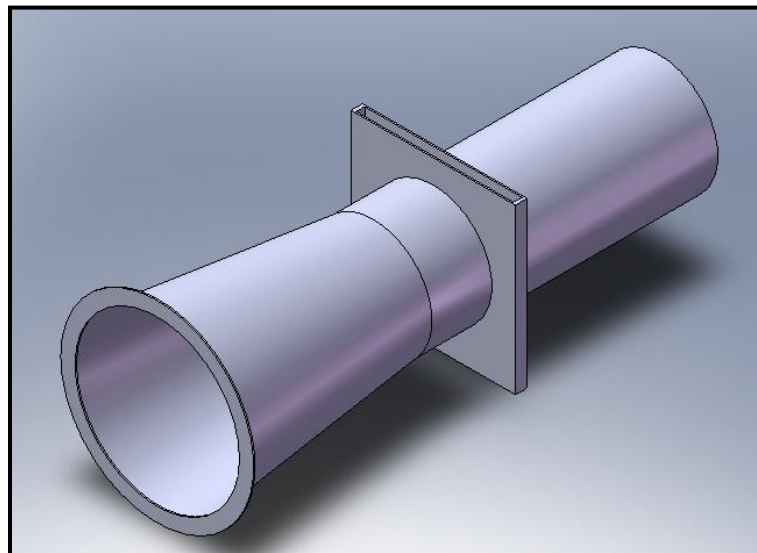


Figura 2.18.- Vista en 3D estrangulador

La placa de estrangulación (figura 2.19) es modelada con la ranura central que coincide con el tubo de estrangulación y graduada para dar mediciones en porcentaje de área.

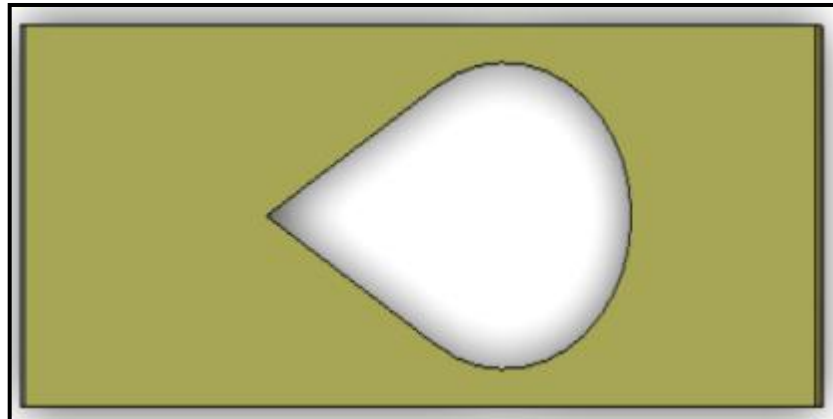


Figura 2.19.- Placa de estrangulación

La placa esta graduada de tal manera que se ingrese y estrangule en porcentaje de área.



Figura 2.20.- Placa de estrangulación graduada

2.11.- CÁLCULOS DE PRESIONES, TURBULENCIA Y TRANSFERENCIA DE CALOR

Después del modelado y dimensionado de las piezas que conforman el intercambiador de calor de flujo cruzado, se procede a simular el ingreso del aire dentro del intercambiador de calor.

El modelo en simulación corresponde al armado, que posterior a los datos se construirá siempre y cuando satisfagan los resultados que se buscan.

Para empezar tenemos los factores de ingreso como la temperatura media del aire, la densidad del aire, la presión atmosférica y la velocidad de aire; también la temperatura a la que se calienta el tubo de cobre y el porcentaje de apertura de la placa de estrangulación:

Tabla II.2.- Datos de ingreso del aire al túnel

Temperatura media	17.5 °C
Densidad	1,2298 kg/m ³
Presión atmosférica	1026,1 hPa
Velocidad del aire	A variar con respecto al porcentaje de apertura
Temperatura del tubo de cobre	80°C ± 2°C

A continuación se indican los resultados que arrojó el programa en base a los parámetros de ingreso con respecto a tres posiciones de apertura de la placa de estrangulación.

2.11.1.- CÁLCULOS CON APERTURA DE LA PLACA 10%

La velocidad de aire al 10% se toma con un valor promedio de 7,12 m/s

2.11.1.1.- Turbulencia

Con la placa extendida al 10%, se observo un mínimo en turbulencia en la zona de ingreso y alrededor de toda la sección del túnel. La medida de pérdida de energía de turbulencia se mide en [J/Kg] los kg son los kilogramos de aire.

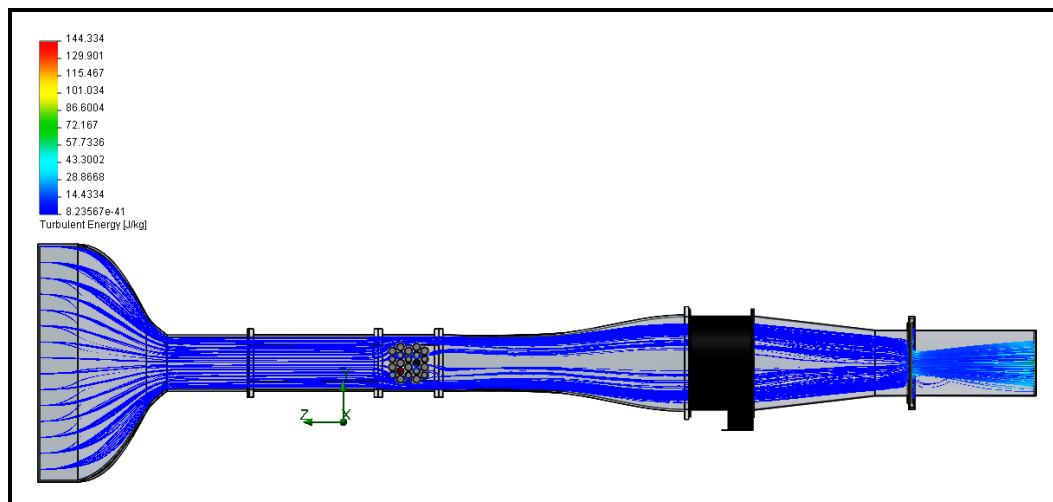


Figura 2.21.- Gráfica de turbulencia con la placa al 10%

En la escala de colores el azul corresponde los valores más bajos y el rojo los valores más altos, a lo largo de toda la sección a excepción de la zona de estrangulación y la salida, el aire no presenta turbulencia, con valores promedios de 8.24×10^{-41} J/kg.

2.11.1.2.- Presión dinámica y total

En el ingreso por el cono de succión y el túnel de ingreso, se presentan valores promedios de presión dinámica de 130,21 [Pa]; en el banco de tubos, el aire cercano a la pared del túnel presentan presiones de 450,631 [Pa] debido a que el aire pasa a través de esta sección muy pequeña.

Posterior al banco de tubos el aire retoma valores de 150,21 [Pa], y se estabiliza por la acción del ventilador. Debido a la forma del estrangulador y al área de estrangulación que corresponde al 10% de la apertura total de la placa, en la salida se presentan los más altos valores de presión 1502,1 [Pa] en esta zona.

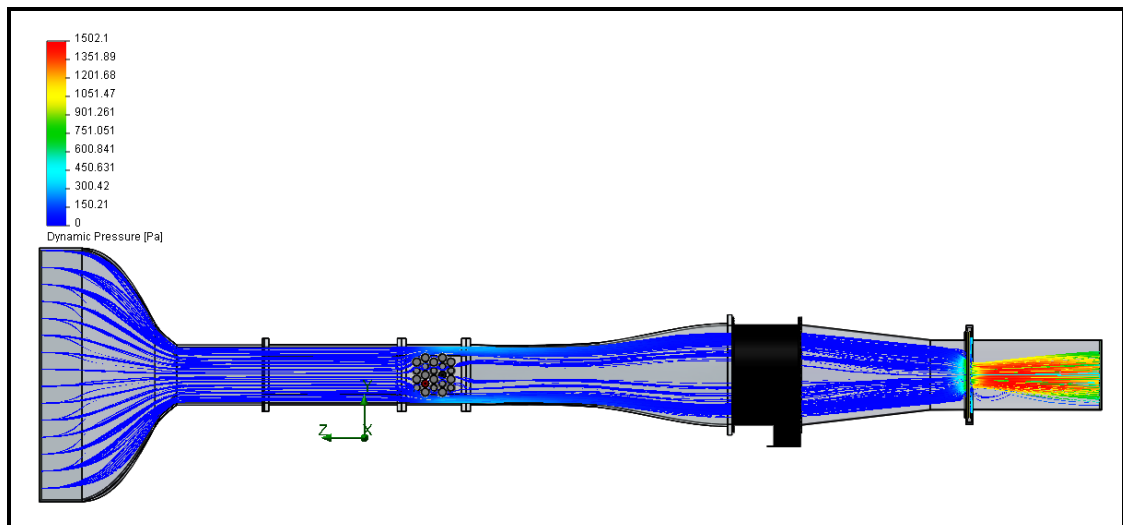


Figura 2.22.- Gráfica de presión dinámica apertura 10%

El mismo fenómeno ocurre con la presión total donde en la sección previo al banco de tubos la presión total es de 103282,2566 [Pa], decrece en valor una vez superado el banco con valor promedio de 102966 Pa.

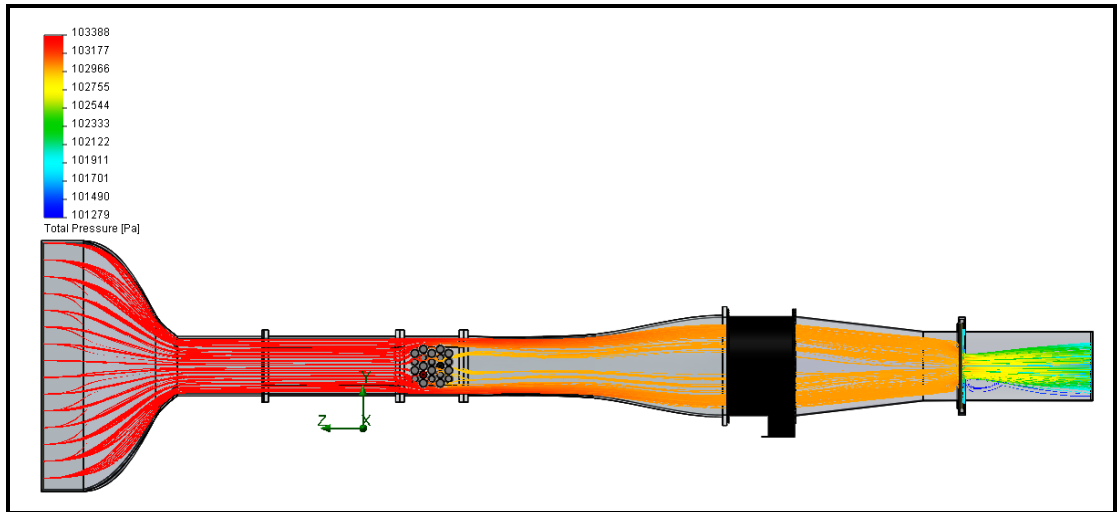


Figura 2.23.- Gráfica de presión total apertura 10%

En la zona de estrangulación los valores promedio son 102755 [Pa] en la zona de color amarillo y 102333 [Pa] en la zona verde.

2.11.1.3.- Temperaturas

Se conoce que la temperatura de entrada es de 17,5 °C, y a partir de esto el valor varía con respecto a la sección, primero el valor de la temperatura de ingreso se toma en el cono de succión, ahora el aire que se encuentra fuera de este tiene un valor promedio de 18,2 °C (sección 1), conforme se estrangula e ingresa a la sección del túnel decrece en valor debido a la baja de presión y al aumento de la velocidad 17,5 °C (sección 2); a lo largo de toda la sección antes del banco de tubos permanece a 17,5 °C de promedio, al tocar el banco de tubos la mayoría del aire sigue la trayectoria hacia la salida con un valor parecido al de ingreso, la parte del aire que toca el tubo de cobre caliente, aumenta su valor de temperatura y cerca de esta zona también con temperaturas entre los 20 °C y los 18,5 °C (sección 3) el aire se entre mezcla a un valor promedio de 18,3 °C a la salida del tubo.

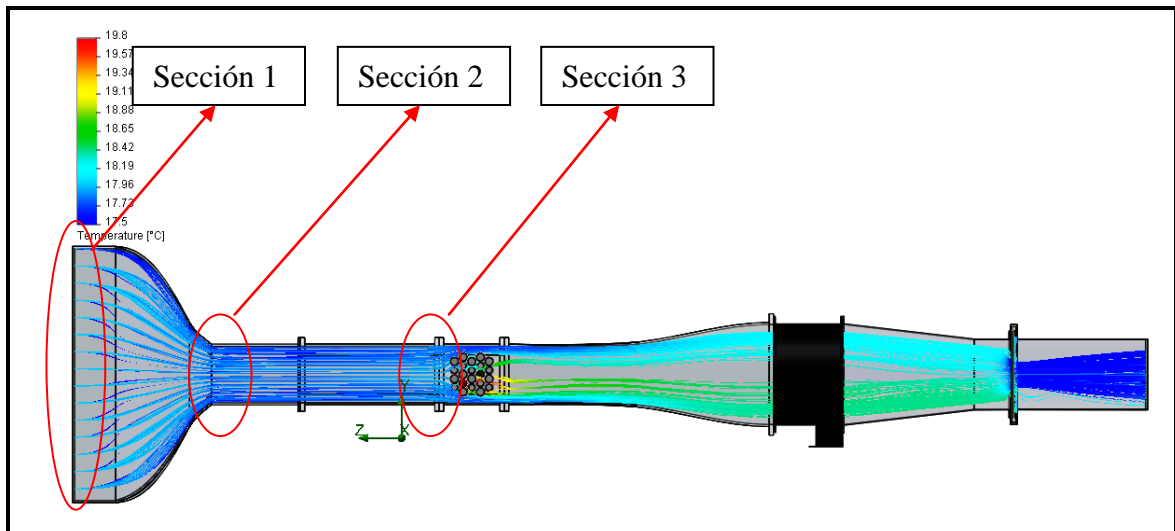


Figura 2.24.- Gráfica de temperaturas apertura 10%

Hay que tener en cuenta que la transferencia de calor crece con respecto al caudal y flujo másico que recorre a través del intercambiador de calor.

2.11.2.- CÁLCULOS CON APERTURA DE LA PLACA 50%

Un hecho a tomar en cuenta es que el valor de la velocidad y el caudal de aire en esta posición aumentan (12.26 m/s), y este aumento genera cambios sustanciales en los datos obtenidos comparados con la apertura al 10%

2.11.2.1.- Turbulencia

Con la apertura de 50% de la placa, el aire en la sección del cono de estrangulación y la sección del túnel no presenta turbulencia con valores infinitesimales 8.23×10^{-41} J/kg; en el banco de tubos se encuentra con valores de turbulencia que varían con respecto a la posición; pero después del banco de tubos se encuentran valores de turbulencia de 24,04 J/Kg, pero al ingresar al ventilador soplador el valor de turbulencia baja nuevamente a valores mínimos 4.8 J/Kg.

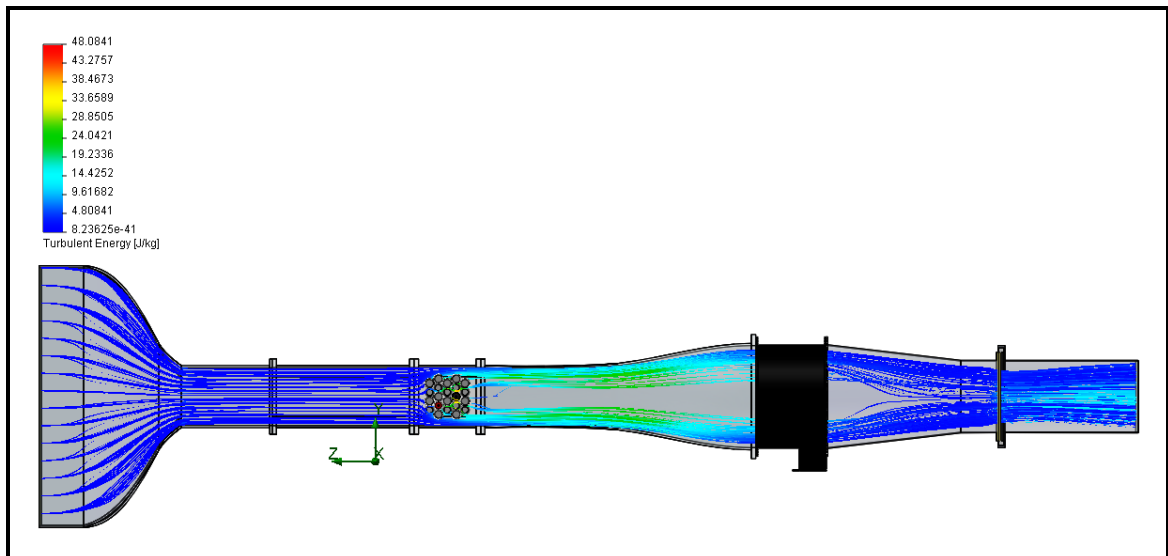


Figura 2.25.- Gráfica de turbulencia con la placa al 50%

La respuesta a más turbulencia a 50% de apertura de la placa se debe a que el aire cada vez entra con más velocidad y se rompe en el banco de tubos con mayor fuerza generando más turbulencia que antes.

2.11.2.2.- Presión dinámica y total

Debido al ingreso de mayor aire con mayor velocidad, la presión dinámica decrece a valores promedios en su región central (sección 1) de 88.94 [Pa] ya una vez en el banco de tubos el aire que toca el cuerpo central (sección 2) tiene valores promedios de 96,29 [Pa] y valores cerca de la pared (sección 3) son elevados con una máxima 962.98 [Pa]. Una vez superada el banco de pruebas la presión decrece de forma acelerada hasta la salida y el estrangulador, por efecto de la forma de cuña del estrangulador el aire aumenta nuevamente su presión aun valor medio de 288,89 [Pa].

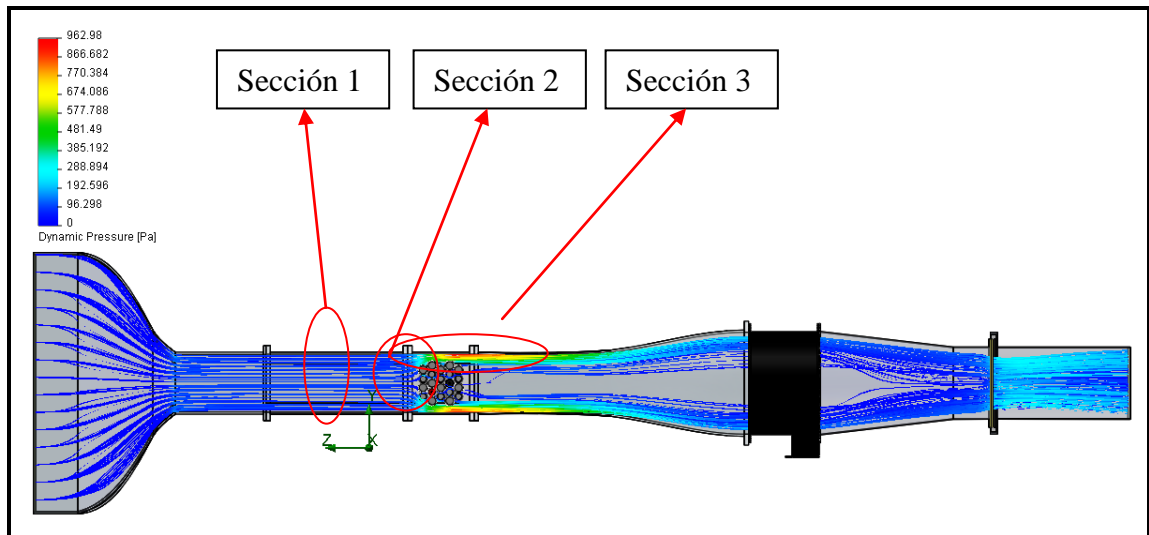


Figura 2.26.- Gráfica de presión dinámica apertura 50%

La presión total en la sección previo al banco de tubos el es de 103282,2566 [Pa], y decrece una vez superado el banco con un valor promedio de 101006 [Pa].

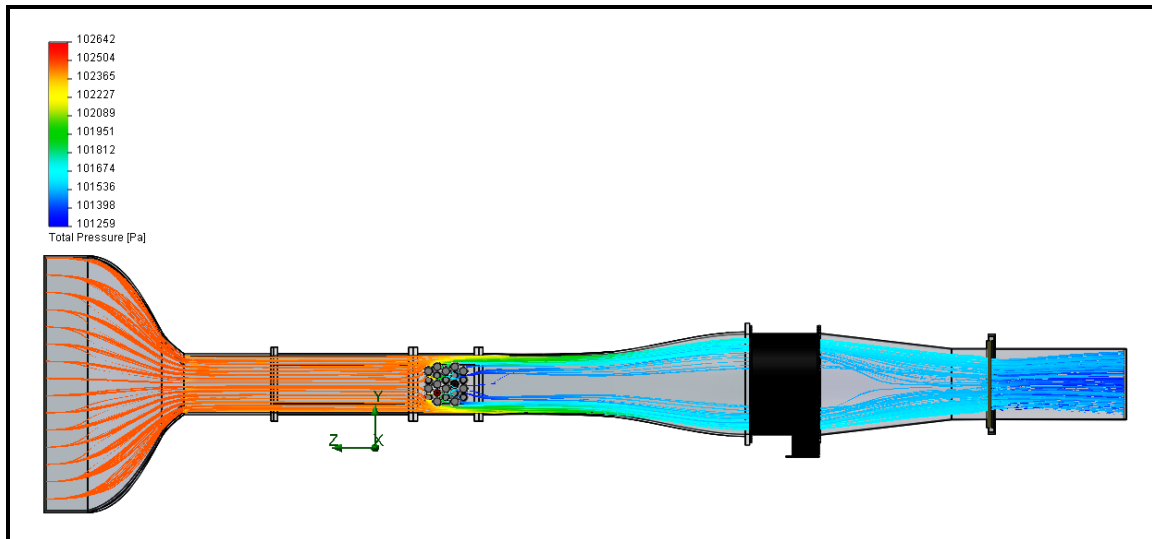


Figura 2.27.- Gráfica de presión total apertura 50%

En la zona de estrangulación los valores de presión total decaen un ligero porcentaje, todo esto debido al incremento de velocidad con la que el aire ingresa 102504 [Pa] y

esta se mantiene estable hasta el banco de tubos; hacia el centro y detrás del banco de tubos se genera una presión baja debido al camino que recorre el aire, detrás de estos el valor de presión se mantiene entre 101674 [Pa], y en la salida con un descenso de 101472 [Pa].

2.11.2.3.- Temperaturas

El aire ingresa a 18,1 °C, conforme se estrangula en la sección del túnel decrece en 17,8°C, debido a la baja de presión y al aumento de la velocidad; a lo largo de toda la sección antes del banco de tubos permanece entre 17,7 °C a 17,8 °C de promedio, al tocar el banco de tubos el aire que está en contacto con el tubo de cobre caliente, aumenta la temperatura entre los 19,5 °C, el aire próximo al tubo de cobre se calienta a 18,9 °C, el aire vuelve a entremezclarse a un valor promedio de 18,1 °C a la salida del tubo.

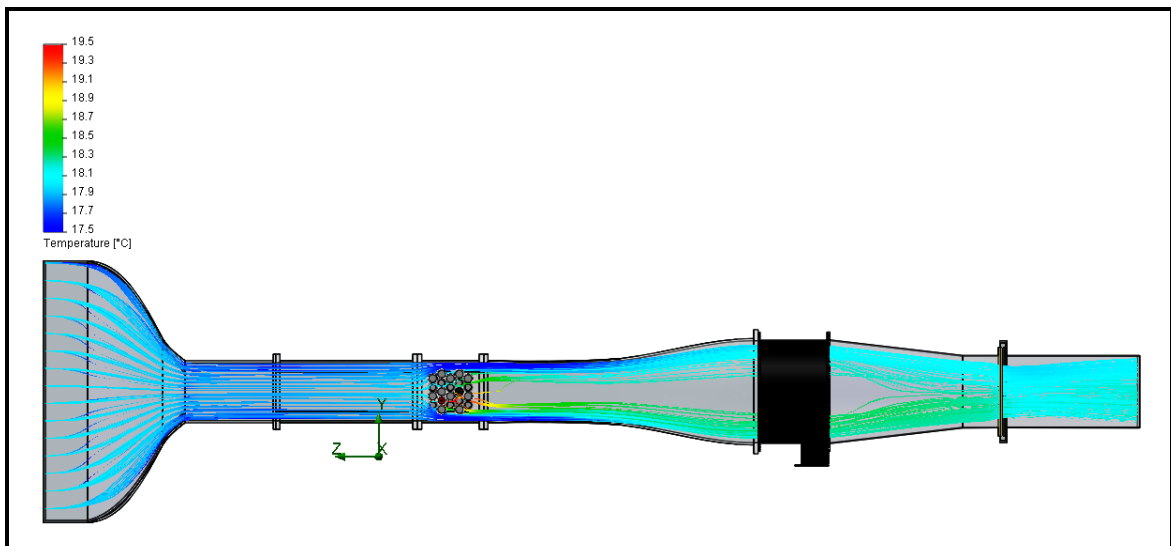


Figura 2.28.- Gráfica de temperaturas apertura 50%

2.11.3.- CÁLCULOS CON APERTURA DE LA PLACA 100%

La velocidad y el caudal de aire en esta posición aumentan (17.02 m/s), este aumento se produce con un 100% de la apertura del estrangulador.

2.11.3.1.- Turbulencia

Al 100% de la placa abierta, el aire en la sección del cono de estrangulación se asemeja más a un flujo laminar sobre todo en la salida, con valores de energía de turbulencias 8.23×10^{-41} J/kg; en el banco de tubos la turbulencia es propia de la distribución de los tubos; pero después de este se encuentran valores de turbulencia de 38 J/Kg, se toma en cuenta que la velocidad del aire de ingreso y después del banco de tubos tiende al límite de flujo laminar y turbulento, es decir en la zona donde el numero de Reynolds da como la zona de transición entre 2100 y 3000, después del ventilador la turbulencia decae nuevamente a valores infinitesimales por debajo del cero 8.23×10^{-41} J/kg, esto también se da debido a la apertura total, de la placa.

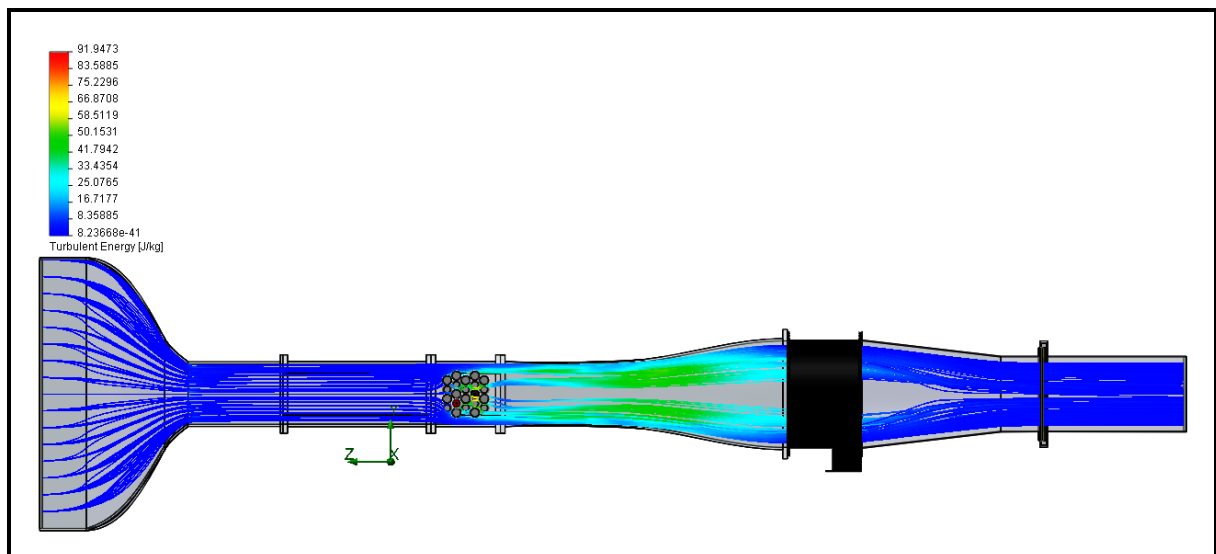


Figura 2.29.- Gráfica de turbulencia con la placa al 100%

El incremento de la turbulencia después del banco de tubos se entiende por la velocidad con la que el aire choca contra este.

2.11.3.2.- Presión dinámica y total

A la máxima velocidad de aire al 100% de apertura, el aire genera una presión dinámica de entre los 300 y 250 [Pa], todo esto debido al aumento vertiginoso de la velocidad del aire, pero en cuanto llega al banco de tubos; el aire de la parte central lucha por cruzar la distribución de estos, con aumento de presión promedio de 339,78 [Pa], mientras que el aire que se encuentra cerca a la pared aumenta a valores máximos de 1868,79 [Pa], para después de atravesado la zona de pruebas bajar vertiginosamente la presión a valores promedios en la salida de 50 [Pa].

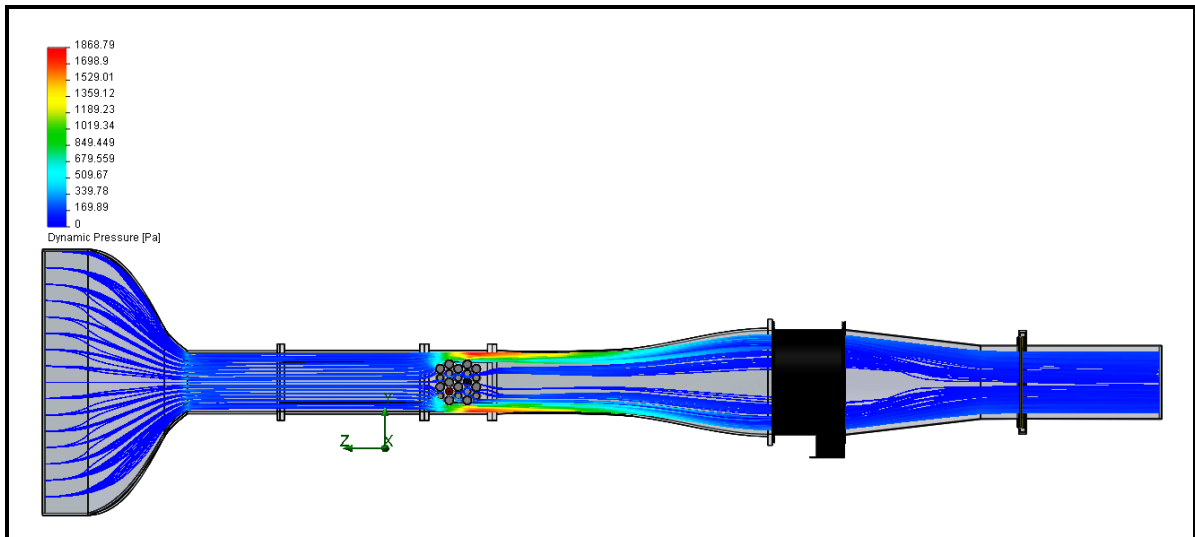


Figura 2.30.- Gráfica de presión dinámica apertura 100%

La presión total a la entrada es de 103392 [Pa] y antes del banco de tubos decae un poco a 103176 [Pa], en la zona cercana a la pared los valores descienden aun más a 102744 [Pa] y antes del ventilador tiene un valor promedio de 101881 [Pa], impulsado por el ventilador a la salida este valor de presión total se estabiliza en 101265 [Pa].

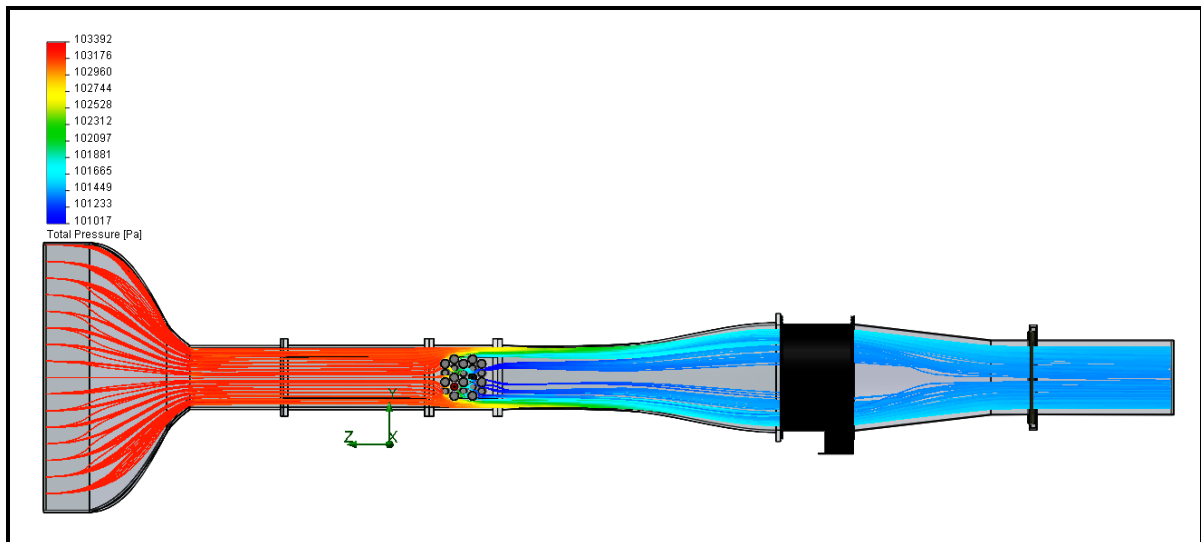


Figura 2.31.- Gráfica de presión total apertura 100%

2.11.3.3.- Temperaturas

El aire que ingresa es medido a 17.80 °C, conforme se estrangula en la sección del túnel decrece en valor debido a la baja de presión y al aumento de la velocidad 17,65 °C y se estabiliza a esta temperatura antes del banco de tubos; al tocar el banco de tubos el aire que toca el tubo de cobre caliente, aumenta su valor de temperatura entre los 19,2 °C, en el aire próximo al tubo de cobre y 18,89 °C; el aire vuelve a mezclarse dando un valor promedio a la salida de 18.18 °C a los 18,272 °C.

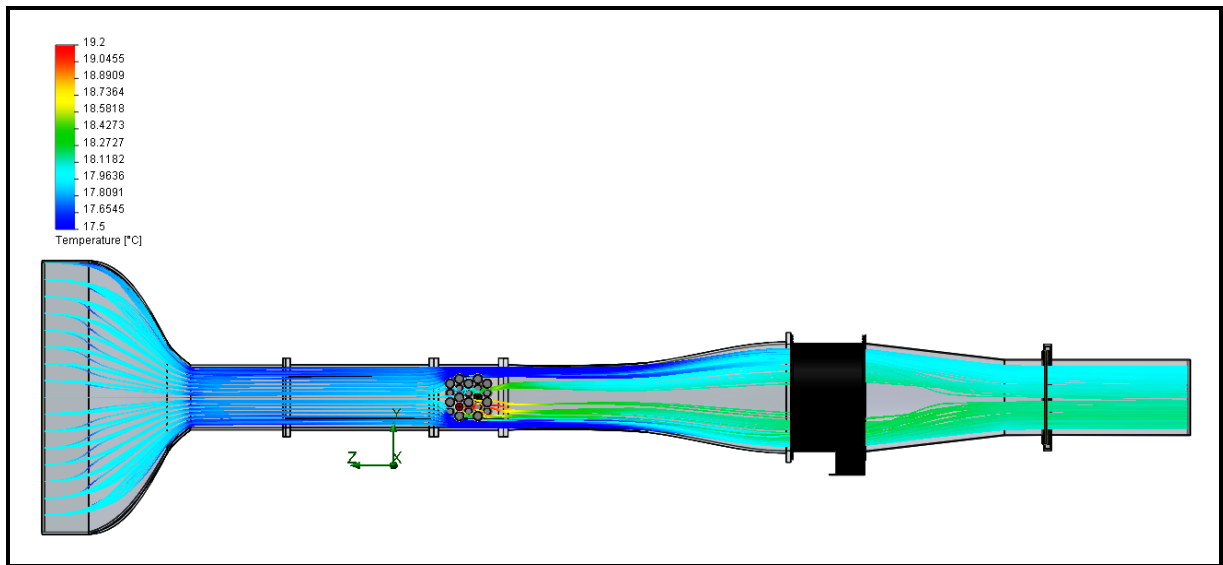


Figura 2.32.- Gráfica de temperaturas apertura 100%

Al final los resultados nos llevan a la conclusión que a menor apertura en el estrangulador la velocidad de aire es menor por obvias razones; la turbulencia también es mínima y esto se explica debido a que el aire a bajas velocidades tiene la capacidad de sortear el orden escalonado de los tubos sin presentar mayor dificultad, así también, el aumento de presión se da debido a la ley propia de fluidos que vincula que la velocidad es inversamente proporcional a la presión, a menor presión mayor velocidad y viceversa. Se dio mayor transferencia de calor a través de un fluido lento que uno rápido.

El aire no presenta mayor problema en cuanto a turbulencia tanto en la mínima apertura como en la máxima, esto se da debido a que las esquinas del perfil se diseñaron en forma curvada.

2.12.- CÁLCULO DE LA POTENCIA NECESARIA

Para seleccionar la potencia necesaria se debe tener en cuenta que tipo de ventilador se está utilizando.

Tabla II.3.- Tipos de ventiladores⁴

Ventilador de baja presión (ventilador)	0.02 bar
Ventilador de media presión (soplador)	0.02 - 0.08 bar
Ventilador de alta presión (compresor)	0.08 - 0.25bar

Se toma el valor de presión 0.02 bar (15 mm de mercurio) que equivale al de un ventilador de baja presión, este valor de presión equivale al promedio de ventiladores sopladores necesarios en redes y sistemas de enfriamiento como el que estamos diseñando.

El cálculo de la potencia del ventilador se obtiene:

$$W = 0.1175 \cdot Q \cdot h \quad (\text{Ecuación 2.3})$$

Donde:

$$Q = \text{caudal masico} \left(\frac{ft^3}{min} \right); Q = V \cdot A \quad (\text{Ecuación 2.4})$$

V = velocidad de ingreso del aire = 3543.306 [ft/min]

Q = caudal = 0.34308 [m³/s] = 726.377 [ft³/s]

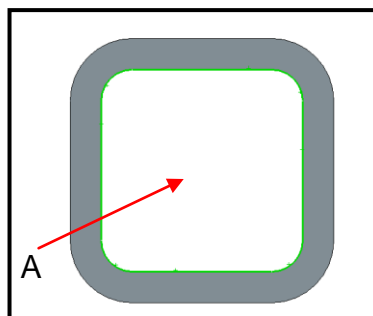


Figura 2.33.- Área del túnel

⁴ GREENE Richard W., Compresores Selección, Uso y Mantenimiento, Pág. 248.

$A = \text{Área de la sección transversal del túnel (figura 2.17)} = 0.205 \text{ [ft}^2\text{]}$

$h = \text{presión de trabajo (n)} = 0.02 \text{ bar (soplador)} = 8.02926 \text{ [in Wc]}$

$$W = 685.2917 \text{ [Watts]}$$

Tomando en cuenta que siempre se debe sobre dimensionar por factor de seguridad se lo realiza al 10 %

$$W = 753.82087 \text{ [Watts]} = 1.009 \text{ HP} \approx 1 \text{ HP}$$

2.13.- SELECCIÓN DEL VENTILADOR SOPLADOR

El ventilador soplador es de marca LHV cata, compañía española especializada en la construcción de extractores y equipos de ventilación del hogar.

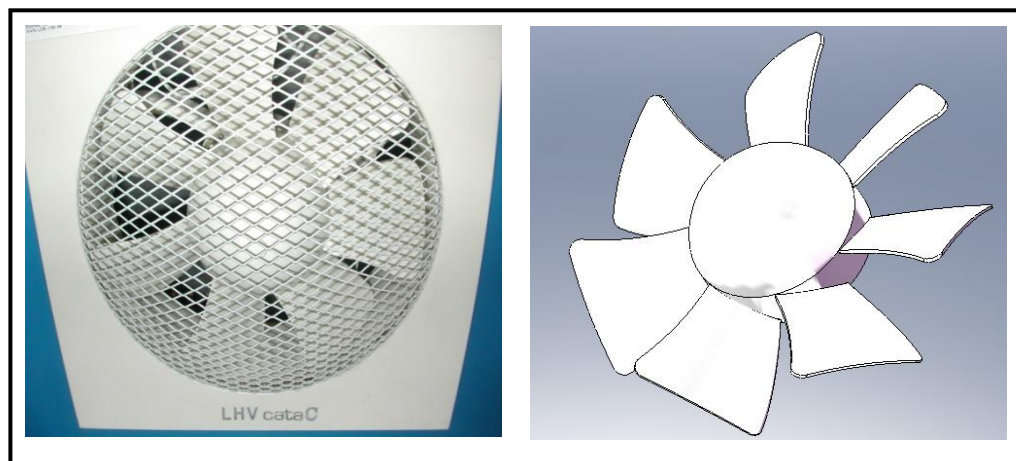


Figura 2.34.- Ventilador

Tabla II.4.- Características técnicas del ventilador

Tipo de fluido	Aire
Características del fluido	$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$
Flujo de fluido (Velocidad)	3800 ft/min
Presiones nominales	1 - 1.5 bar
Temperaturas nominales	-5°C a 65 °C (temperatura del aire)
Potencia del ventilador	1 HP
Velocidad de giro RPM	3600 RPM
Numero de alaves	7 ; ángulo no invertido
Área efectiva (alave)	3650 mm ² (lado de ataque)
Tipo de ventilador	CLASE II (AMCA)
Eficiencia	Condiciones ambiente (90 %)

La velocidad en tablas del ventilador coincide con los cálculos realizados para la potencia del motor (3543.306 [ft/min]), al igual que la potencia de trabajo y el número de revoluciones.

2.13.1.- DIMENSIONES DEL VENTILADOR

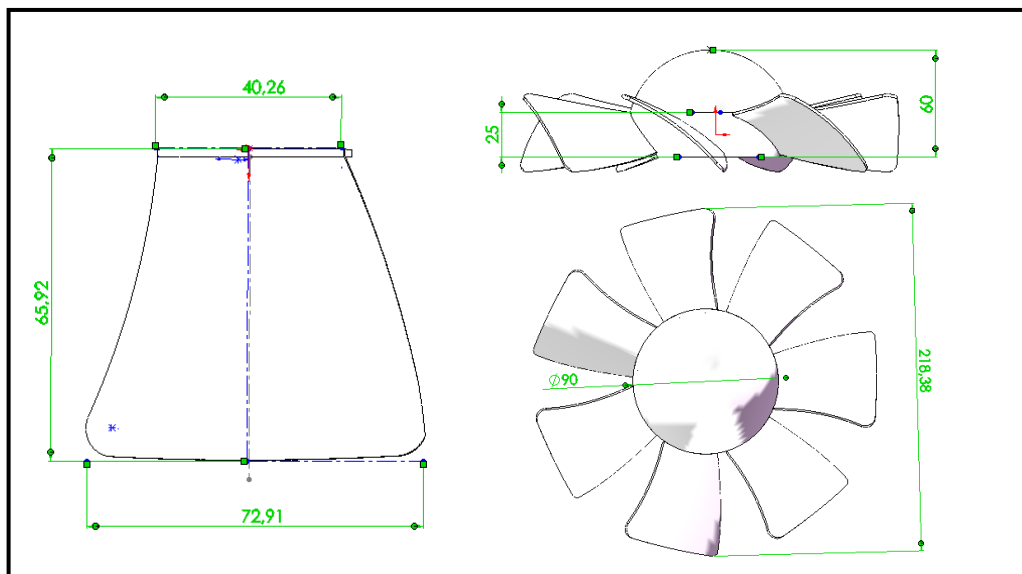


Figura 2.35.- Medidas del ventilador

2.14.- DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DEL TUBO DE COBRE

El calentamiento del tubo de cobre para el intercambiador de calor nos obliga a diseñar un sistema el cual albergue al objeto en cuestión y lo caliente de manera uniforme a la temperatura de 80°C, necesarios para los distintos ensayos en las practicas a realizarse.

El diseño consta de una tubería metálica de 15.2mm de diámetro que nos va a servir de alojamiento al tubo de cobre.

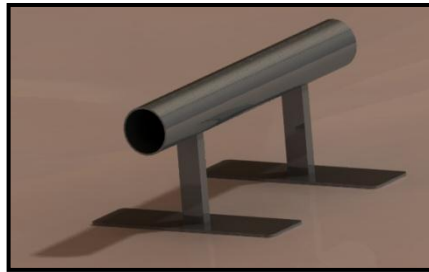


Figura 2.36.- Tubería metálica

2.14.1.- SELECCIÓN DEL ALAMBRE DE RESISTENCIA TERMICA Y DISEÑO DEL CIRCUITO

Para calentar el tubo se debe seleccionar la resistencia térmica tomando en cuenta el tiempo que le tomara al cobre calentarse a 80°C.

Para este fin se utiliza la ecuación de potencia activa para voltaje alterno:

$$Pot = V \cdot I \cdot fp \quad (\text{Ecuación 2.5})$$

Donde:

Pot = Potencia activa

V = Voltaje alterno

I = Corriente activa

fp = factor de potencia

Donde el voltaje alterno se conoce $\widetilde{120 V}$, el factor de potencia es de 0,8 y la corriente activa se calcula mediante la (Ecuación 2.6):

$$Q = R \cdot I \cdot t \quad (\text{Ecuación 2.6})$$

Donde Q es el calor necesario para calentar el eje de cobre a 80°C ($Q = 78000 \frac{J}{kg \cdot ^\circ K}$), R= 250 ohms equivalente a la resistencia térmica, el tiempo de calentamiento es de 2 min, despejando la corriente (I) de la ecuación 2.6, se obtiene el valor de:

$$I = \frac{Q}{R \cdot t}$$

$$I = 5.2 [A]$$

Ahora remplazando I en la ecuación 2.5, se obtiene la potencia:

$$Pot = 499,2 W \cong 500W$$

La resistencia térmica es de marca Sarabastall⁵, modelo RFS trenzada de fibra de vidrio, hilo calefactor de Ni-Cr 80/20, con un recubrimiento de silicona térmica.

⁵ www.sarabastall.com/rs_tm/se.



Figura 2.37.- Resistencia térmica

Tabla II.5.- Características técnicas de la resistencia térmica

LONGITUD [cm]	WATIOS A 120[V]	W / M	Ø EXTERIOR [mm]	REVESTIMIENTO AISLANTE
35	526	526	4	Silicona

CAPÍTULO III

DISEÑO MECÁNICO

3.1.- PARÁMETROS DE DISEÑO

Los parámetros de diseño se definen según la función que va a cumplir cada elemento en el banco de pruebas:

- Dureza del material
- Coeficiente de transferencia de calor (Adiabática)
- Coeficiente de fricción
- Resistencia al desgaste y la fatiga

Entre las más importantes se destacan las propiedades de los materiales y su coeficiente de transferencia de calor para no generar una pérdida no calculada o innecesaria de calor hacia las paredes del túnel de succión.

3.2.- DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA⁶

3.2.1.- DISEÑO DEL EJE

Para el diseño del eje se tienen los siguientes datos:

Potencia del motor (Pot) = 1 [HP] Motor Weg

Revoluciones de giro (n) = 3600 [RPM]

Diámetro de la polea = 7.7 [cm]

Longitud del eje = 11 [cm]

Material del eje: ACERO 1045

Propiedades del acero:

Resistencia de fluencia: $S_y = 83.000 \text{ psi}$

Resistencia a la tensión: $S_u = 118.000 \text{ psi}$

$\text{elongacion } \% = 19$

Resistencia a la fatiga: $S_n = 42.000$

Factor de concentración de esfuerzos, eje circular sin orificio: $K_t = 2,5$

Factor de tamaño y durabilidad: $C_s = 0,966$

Factor de confiabilidad: $C_r = 0,75$

Factor de seguridad para materiales dúctiles bajo cargas dinámicas con incertidumbres en las cargas, las propiedades del material y el ambiente de trabajo: $N = 3$

Resistencia modificada a la fatiga:

$$S_n' = S_n \cdot C_s \cdot C_r \quad \text{(Ecuación 3.1)}$$

$$S_n' = 30.429 \text{ [psi]}$$

⁶ MOTT Robert, Diseño de elementos de maquinas, 4ta edición , Diseño de ejes, flechas, Cap. 12

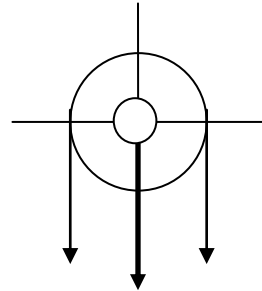
Ecuación para determinar el par torsional:

$$T_B = 63000 \frac{(Pot)}{n} \quad \text{(Ecuación 3.2)}$$

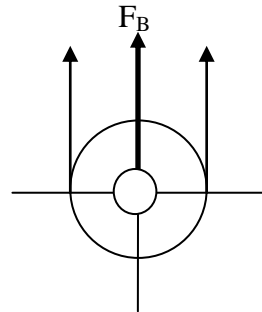
$$T_B = 17.5 [N \cdot m]$$

$$\text{Fuerza impulsora neta: } F_N = \frac{T}{D/2} \quad \text{(Ecuación 3.3)}$$

$$F_N = 454,5454 [N]$$



$$\text{Fuerza de flexión: } F_{By} = 681,8181 [N]$$



METODO DE LAS AREAS

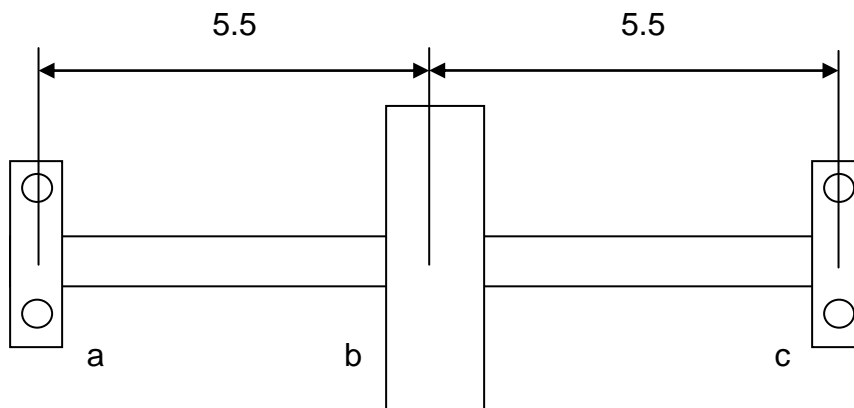


Figura 3.1.- Diagrama del eje y apoyos de rodamientos

Los esfuerzos de corte se encuentran en los apoyos (figura 3.1 a-c), mientras que el esfuerzo por torsión se ubica en la polea (figura 3.1 b).

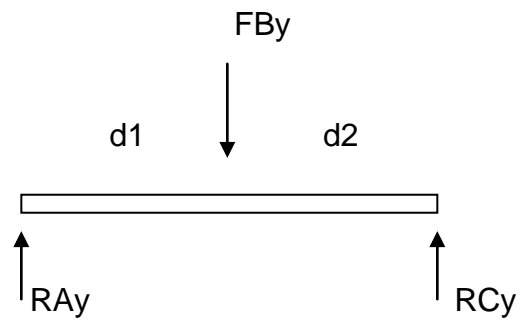


Figura 3.2.- Diagrama de fuerzas

$$R_{Ay} = 340.9090$$

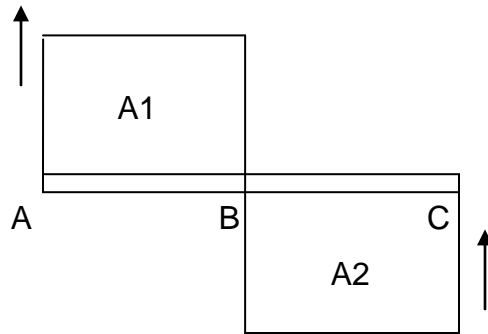


Figura 3.3.- Diagrama de esfuerzos

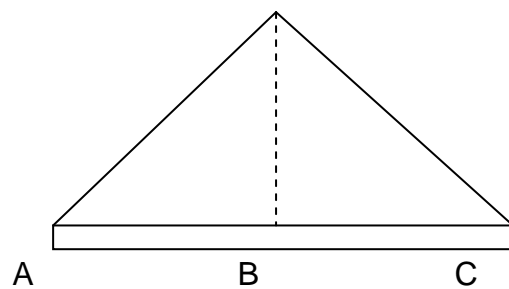


Figura 3.4.- Diagrama de momentos

$$M_B = 1.874,9999995 \text{ [N} \cdot \text{cm]}$$

TEORIA DE VON MISSES

$$D_B = \left[\frac{32 \cdot N}{\pi} \sqrt{\left(\frac{Kt \cdot M}{Sn'} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{Sy'} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Ecuación 3.4})$$

$$D_B = \left[\frac{32 \cdot 3}{\pi} \sqrt{\left(\frac{2,5 \cdot 1.874,9999995}{42.000} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{17,5}{83.000} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_B = 1.50054 \text{ [cm]}$$

3.2.2.- SELECCIÓN Y TIPO DE LA POLEA

Para nuestra selección escogimos la polea del tipo acanalada

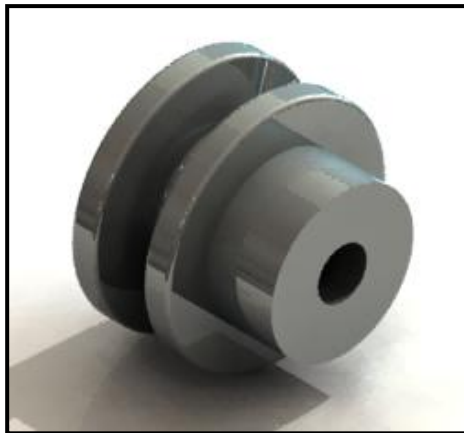


Figura 3.5.- Polea acanalada

La relación de transmisión se obtiene en base a las velocidades de giro y el diámetro de las mismas, en el banco pruebas la banda deberá transmitir la misma velocidad del motor hacia el ventilador, puesto que el diámetro activo de las poleas es el mismo ($DW1 = DW2 = 50,8 \text{ [mm]}$), calcularemos la relación de transmisión con la siguiente ecuación:

$$i = \frac{N1}{N2} = \frac{Dw2}{Dw1} \quad ; \quad i = 1 \quad \text{(Ecuación 3.5)}$$

Donde:

N1 = velocidad de la polea menor (motor; 3600 r.p.m.)

N2 = velocidad de la polea mayor (eje; 3600 r.p.m.)

DW1 = diámetro de la polea menor

DW2 = diámetro de la polea mayor

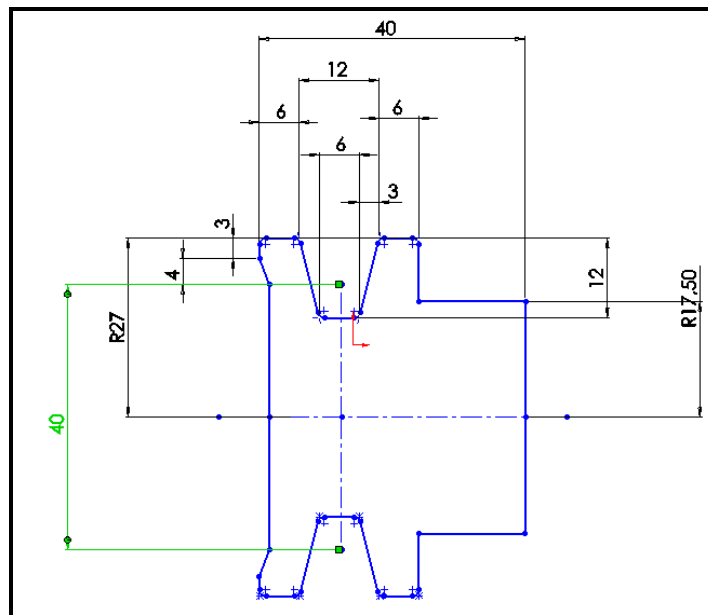


Figura 3.6.- Dimensiones de la polea del motor y del ventilador

3.2.2.1.- Material de la polea

Las poleas están construidas de aluminio forjado con las siguientes características.

Tabla III.1.- Características del material de la polea

MATERIAL	CARACTERÍSTICAS
Aluminio forjado	ALEACION: 2xxx
	DUREZA: Se mide con dureza brinell HB=110
	LIMITE ELASTICO = 0,2%
	TRATAMIENTO TÉRMICO T5
	RESISTENCIA A LA TRACCION: 442 MPa

3.2.3.- SELECCIÓN DE BANDAS⁷

Datos:

Potencia del motor = 1HP

Velocidad del motor = 3600 RPM

Velocidad de salida = 3600 RPM

3.2.3.1.- Factor de servicio⁸

Motor CA; alto par torsional, tipo de maquina: agitador soplador, Ver anexo B

$$\mu = 1.1$$

3.2.3.2.- Potencia teórica (Pt)

La potencia teórica es la potencia a la cual se necesita conducir la banda, en este caso es la potencia del motor.

$$Pt = 1[HP]$$

⁷ MOTT Robert, Diseño de elementos de maquinas, 4ta edición, Cap. 7, Pág. 278.

⁸ MOTT Robert, Diseño de elementos de maquinas, 4ta edición, Tabla 7-1, Pág. 274.

3.2.3.3.- Potencia de diseño (Pd)

La potencia de diseño es la potencia que se utilizará para la selección en las tablas de bandas y es el resultado de multiplicar la potencia teórica y el factor de servicio. Ver anexo B

$$Pd = Pt \cdot \mu \quad \text{(Ecuación 3.6)}$$

$$Pd = 1,1 \text{ [HP]}$$

3.2.3.4.- Sección de banda⁹

Para la selección de banda se toma en cuenta el valor de la potencia de diseño y las revoluciones del motor.

Sección tipo 3VX

3.2.3.5.- Relación de transmisión

La relación de transmisión se define por i:

$$i = 1$$

3.2.3.6.- Potencia nominal de la banda

La potencia nominal de la banda se determina a partir de la figura, se relaciona el diámetro activo de la polea y la velocidad de giro del impulsor. Ver anexo B

$$Pn = 1.05 \text{ HP}$$

⁹ MOTT Robert, Diseño de elementos de maquinas, 4ta edición, Figura 7-9, Pág. 274.

3.2.3.7.- Distancia tentativas entre ejes

Este cálculo de distancias tentativas C determina un rango de valores de distancia que pueden ser colocados los centros de las poleas.

$$Dw2 < C < 3(Dw2 - Dw1) \quad \text{(Ecuación 3.7)}$$

$$5,08 \text{ cm} < C < 30,48 \text{ cm}$$

Por motivos de construcción y espacio ubicaremos la distancia entre ejes o valor mayor al rango $C = 56 \text{ cm}$

3.2.3.8.- Longitud de la correa

Depende de la posición de la correa y la distancia entre los ejes (distancia del eje impulsor al eje impulsado). La longitud se obtiene a partir de la ecuación de bandas cerradas (ecuación 3.8).

$$L = 2 * C + 1,57(Dw2 + Dw1) + (Dw2 - Dw1)^2 / 4 * C \quad \text{(Ecuación 3.8)}$$

Donde:

C = distancia entre ejes = 56 cm

L = longitud de la correa

$Dw2$ = diámetro activo de la polea mayor = 5.08 cm

$Dw1$ = diámetro activo de la polea menor = 5.08 cm

$$L = 127,951 \text{ cm}$$

3.2.3.9.- Selección de la longitud de banda estándar

Se selecciona a partir de longitudes estándar reales de bandas, para nuestro caso es una banda marca Dayco. Ver anexo B

Tabla III.2.- Banda Dayco

Código de Banda	Peso [lb]	Largo efectivo [cm]
15500	0.31	127

El valor de longitud estándar es menor que el calculado, procedemos a corregir los demás valores y la distancia entre ejes con el nuevo valor de longitud.

$$B = 4L - 6.28(Dw_2 + Dw_1) \text{ (Ecuación 3.9)}$$

$$B = 444,1952$$

$$C = \frac{B + \sqrt{(B)^2 - 32(Dw_2 - Dw_1)}}{16}$$

$$C = 55,52 \text{ cm}$$

3.2.3.10.- Cálculo del ángulo de contacto

El valor del ángulo de contacto se calcula con la siguiente ecuación.

$$\theta = 180^\circ - 2 \operatorname{sen}^{-1} \left[\frac{Dw_2 - Dw_1}{2C} \right] \quad \text{(Ecuación 3.10)}$$

$$\theta = 180^\circ$$

3.2.3.11.- Cálculo de la potencia nominal corregida

El valor de la potencia se obtiene multiplicando la potencia nominal por los factores de corrección C_θ y C_L . Ver anexo B.

$$\text{Pot corregida} = C_\theta C_L P \quad \text{(Ecuación 3.11)}$$

$$\text{Pot corregida} = 0,9975 \text{ HP}$$

Así mismo calculamos el número de bandas necesarias para el trabajo:

$$\text{número de bandas} = \frac{1,1 \text{ HP}}{0,9975} \quad \text{(Ecuación 3.12)}$$

$$\text{número de bandas} = 1,1$$

Tomamos 1 banda para el sistema de transmisión.

3.3.- SELECCIÓN DE MATERIALES PARA EL TÚNEL, LA ZONA DE PRUEBAS Y EL DIFUSOR

3.3.1.- MATERIAL DE LAS PIEZAS DEL TÚNEL

El cono de succión, el túnel de ingreso y el difusor son construidas en fibra de vidrio del tipo A, debido a las características adiabáticas necesarias para el banco de pruebas.

Tabla III.3.- Características de la fibra de vidrio A

Resistencia a la tracción	9,000 Kg/cm ²
Resistencia a la compresión	3,700 Kg/cm ²
Esfuerzo cortante	2,200 Kg/cm ²
Resistencia a la flexión	7,450 Kg/cm ²
Modulo de elasticidad	3.4 X 10 ⁵ Kg/cm ²
Densidad	2 g/cm ³



Figura 3.7.- Fibra de vidrio

3.3.2.- MATERIAL DE LA ZONA DE PRUEBAS

Debe tener las mismas características que el túnel de succión con un adicional de transparencia para la observación del experimento que se realiza, además de ser adiabática, El plexiglás o Polimetilmetacrilato, posee propiedades de resistencia a la intemperie, transparencia y resistencia al rayado.

Tabla III.4.- Características del plexiglás

<p>Propiedades Físicas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Densidad 1.15 g/cc 0.0415 lb/in³ ASTM D792. • Absorción de agua 0.4 % 0.4 % 24 horas de inmersión; ASTM D570. • Contracción lineal de forma 0.003 - 0.008 cm/cm 0.003 - 0.008 in/in de área fría a la pieza fría - 48 hrs; ASTM D955. • Flujo de fundición 1 g/10 min 1 g/10 min Condición I; ASTM D1238.
<p>Propiedades Mecánicas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Dureza, Rockwell M 45 45 ASTM D785. • Fuerza de Tensión, Última 38 MPa 5510 psi ASTM D638. • Modulo de flexibilidad 1.9 GPa 276 ksi. • Fuerza de ruptura máxima de flexibilidad 71 MPa Max 10300 psi ASTM D790. • Resistencia al impacto, agujero 0.59 J/cm 1.11 ft-lb/in ASTM D256. • Gardner Impact 14 J 10.3 ft-lb J; Falling Dart 15 cm x 15 cm x 0.3 cm; 1.4 kg dart; 6.4 mm radius.
<p>Propiedades Térmicas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Punto de fusión 132 °C 270 °F. • Temperatura máxima de flujo Air 71 - 82 °C 160 - 180 °F. • Desviación de temperatura a 1.8 MPa (264 psi) 79 °C 174 °F. Recocido; ASTM D648. • Punto de difuminación Vicat 96 °C 205 °F sin recocido, 50°C/hr, 1 kg; ASTM D1525.
<p>Propiedades Ópticas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Índice refractario 1.49 1.49 ASTM D542. • Condensación Max 3 % Max 3 % ASTM D1003. • Transmisión de Luz, Visible 91 % 91 % Transparencia blanca total; ASTM D1003.

3.3.3.- MATERIAL DE LA PIEZA DEL SOPORTE DEL VENTILADOR

La pieza de soporte del ventilador está construida en acero inoxidable, debido a que este elemento soporta el sistema de transmisión de potencia, el eje, las poleas, el ventilador, fuerza lateral $F = 681.8 \text{ [N]}$ (capítulo 3.2.1) y el torque = 17.5 [N-m] que produce el motor en funcionamiento.

Tabla III.5.- Características del acero inoxidable

Acero inoxidable	AISI 1020
Limite a la tracción	413,613 N/mm ²
Limite elástico	172,339 N/mm ²
Modulo cortante	77000 N/mm ²
Dureza Brinell	217 HB

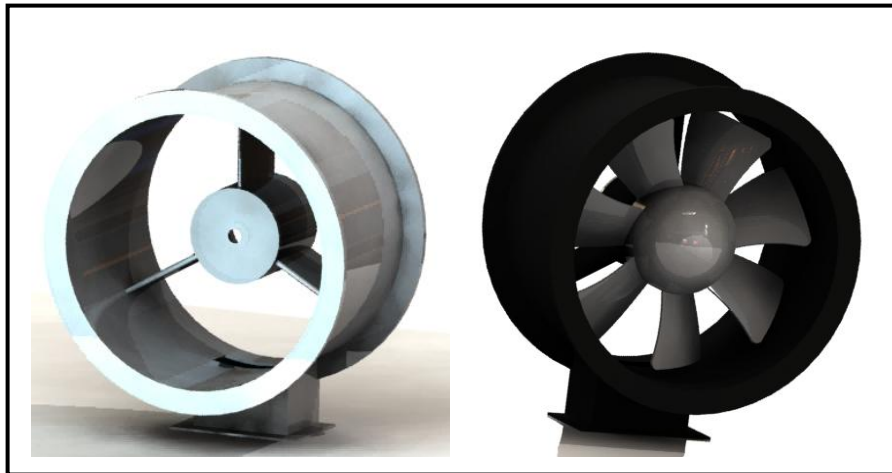


Figura 3.8.- Soporte en acero inoxidable

3.4.- SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA ZONA DE PRUEBAS

3.4.1.- MATERIAL DE LOS TUBOS DE SIMULACIÓN

La simulación del paso de aire a través del banco de tubos es la parte central de todo el equipo, estos tubos deben poseer características como propiedades adiabáticas que no permitan la absorción de calor además de un acabado superficial con un mínimo en rugosidad que ayuda al óptimo funcionamiento del banco de pruebas.

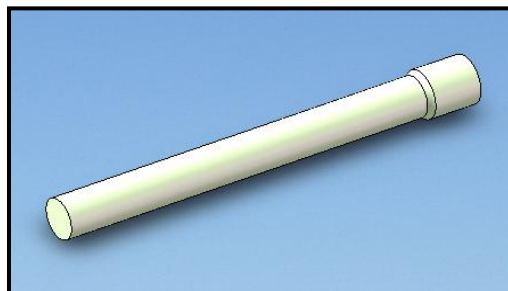


Figura 3.9.- Tubo de nylon

Tabla III.6.- Características del Nylon

Propiedades físicas y mecánicas del nylon 66	
Punto de fusión	255 °C
Densidad	1,14 g/cm ³
Calor específico	1,67 J/(mol*K)
Conductividad térmica	0,43 W/(m*K)
Resistividad eléctrica	6*10 ¹⁴ W*cm
Tensión de tracción en el punto de fluencia	11500 lbf/pul ²
Módulo de tracción	4.3*10 ⁵ lbf/pul ²
Dureza Rockwell	R118
Coefficiente cinético de fricción	0,45

Los tubos simularan y forzaran al aire recorrer como lo haría en un intercambiador de calor normal, con la excepción del tubo de cobre con sensor en su interior que se

caliente y sirve de control para el resto de las pruebas el cual tendrá el mismo diámetro que los tubos de plexiglás y este aloja al sensor de temperatura que más adelante se especifica.

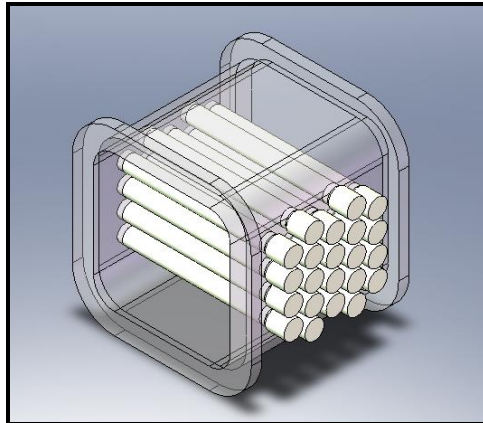


Figura 3.10.- Tubos en zona de pruebas

3.4.2.- TUBO DE COBRE

El cobre tiene una gran variedad de aplicaciones a causa de sus ventajosas propiedades, como son su elevada conductividad del calor y electricidad. Debido a su extraordinaria conductividad, sólo superada por la plata, el uso más extendido del cobre se da en la industria eléctrica.



Figura 3.11.- Tubo de cobre

Tabla III.7.- Características del cobre

Propiedades del cobre	
Resistencia a la tracción	210 MPa
Limite elástico	33.3 MPa
Punto de fusión	1357,77°C
Conductividad térmica	400 W/(m°K),
Calor específico	385 J/(kg°K)
Coefficiente de dilatación térmica	$16,5 \times 10^{-6} \text{ K}^\circ$.

3.5.- DISEÑO DE LA BANCADA

Todos los elementos del banco de pruebas se ubican o colocan sobre la estructura metálica conocida como bancada y de ahí la importancia de un buen diseño que soporte las cargas de peso, gravedad y esfuerzos que se generan.



Figura 3.12.- Estructura de la bancada

Todas las medidas se encuentran en milímetros y corresponde al diseño en SolidWorks.

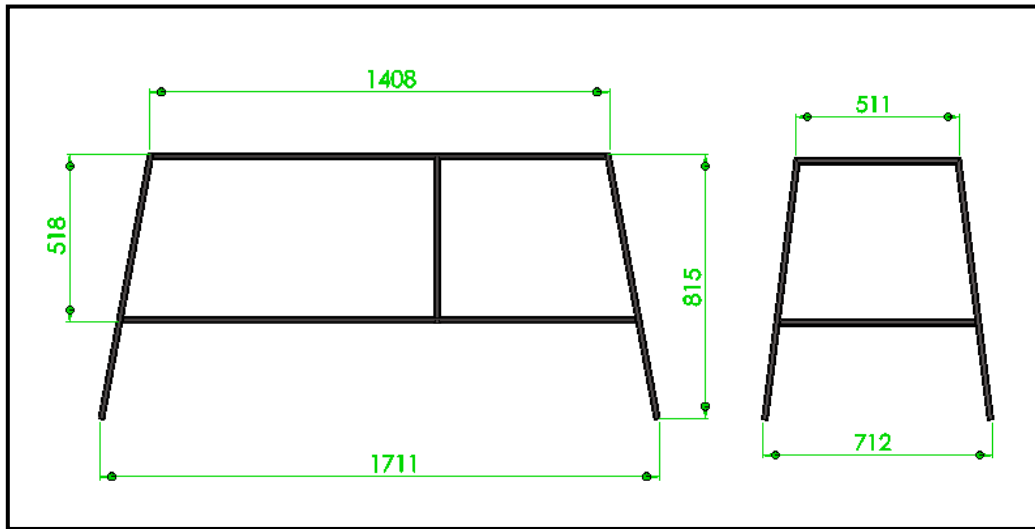


Figura 3.13.- Medidas de la bancada

A la estructura se le une las planchas metálicas soldadas y los cajones que conforman el cuerpo total de la mesa incluido la plancha de madera

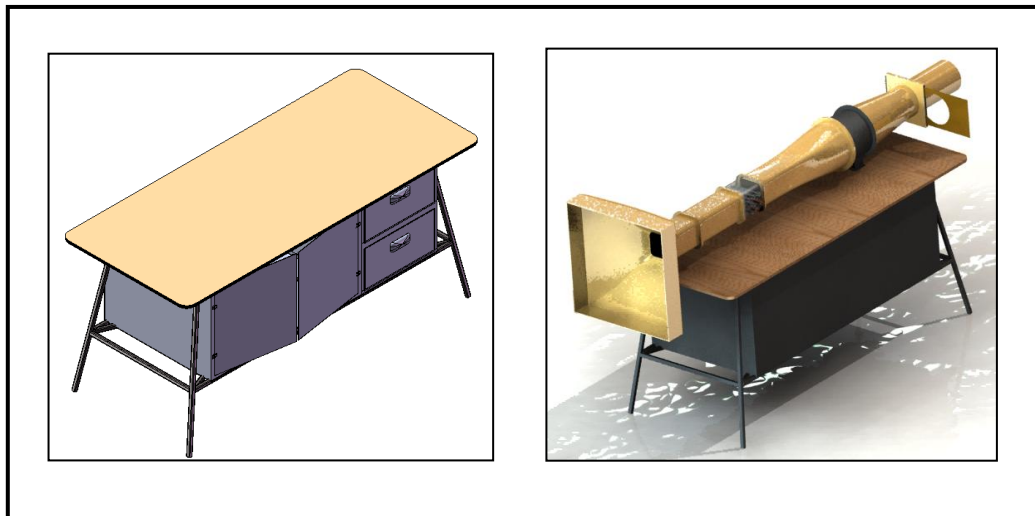


Figura 3.14.- Montaje de banco de pruebas en bancada

3.5.1.- ANALISIS DE TENSION Y DEFORMACION EN LA BANCADA

Se determinaran las cargas que actuaran sobre el banco y se procederá a analizar los resultados que arroja la simulación en COSMOSWorks:

Fuerza 1

Pesos:

Cono de succión	= 6.5 kg
Sección 1	= 1.5 kg
Zona de pruebas	= 0.75 kg
Sección 2	= 2.75 kg
Soporte del ventilador	= 5 kg
Estrangulador	= 6.5 kg
Placa de estrangulación	= 1.5 kg
Elementos eléctricos y electrónicos	= 4.5 kg
Tubo de pitot	= 0.5 kg
Tubos de simulación y de cobre	= 0.5 kg
Total	= 30 kg

La aceleración a es la gravedad = 9.8 m/s^2

$$F = m \cdot a$$

$$F = 294 [N]$$

Fuerza 2

Pesos:

Motor eléctrico	= 10,2 kg
Total	= 10,2 kg

Momento

$$M_B = 18,74999 [N \cdot m]$$

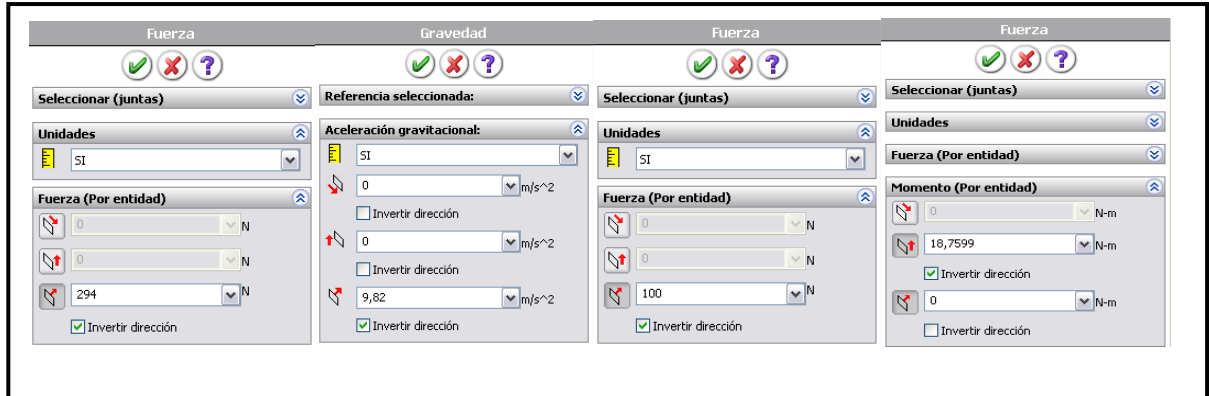


Figura 3.15.- Ingreso de parámetros COSMOSWorks

Una vez ingresados los valores de las fuerzas se procede a simular el programa arrojando los siguientes datos:

3.5.1.1.- Tensiones σ

Como se puede ver en la figura 3.16, los mayores esfuerzos de tensión se localizan en las vigas longitudinales, sobre todo aquellas que están en la base en donde se sujeta el motor y las superiores en donde la banda realiza el giro del ventilador.

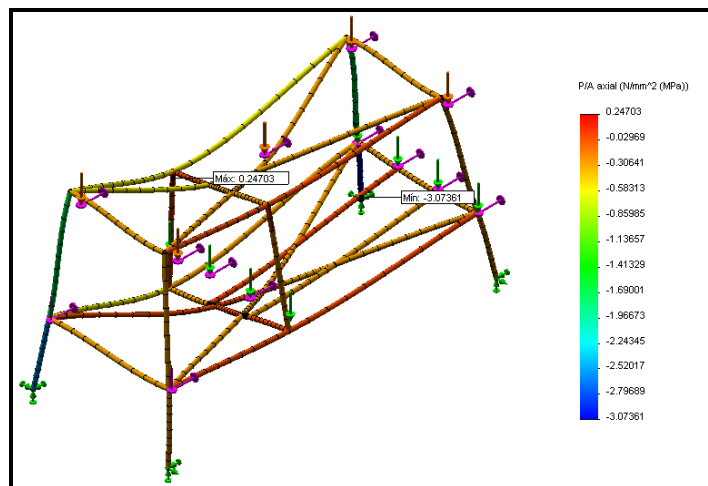


Figura 3.16.- Resultados de tensiones COSMOSWorks

Con un valor máximo bajo la unión de la viga superior y lateral, por supuesto una mínima en las patas con contacto al piso.

El valor máximo corresponde al valor: 0,2470 [MPa], y el mínimo en de -3,07 [MPa]. Ahora si tomamos en cuenta que el límite de fluencia del material de la mesa acero ASTM A36M corresponde; $\sigma = 400$ [N/mm²].

Podemos calcular el factor de seguridad n que por teoría resulta de la división del límite de fluencia del material para el mayor esfuerzo de tensión de tracción y este no puede ser menor que 2,

$$n = \frac{\sigma \text{ material}}{\sigma \text{ maximo calculado}}$$

$$n = \frac{400 \left[\frac{N}{mm^2} \right]}{0.2470 \left[\frac{N}{mm^2} \right]}$$

$$n = 1619,4332$$

3.5.1.2.- Desplazamientos

El banco de pruebas presenta pequeños valores de desviación, deformación o desplazamientos en consecuencia a la aplicación de las fuerzas, cargas y torques simuladas.

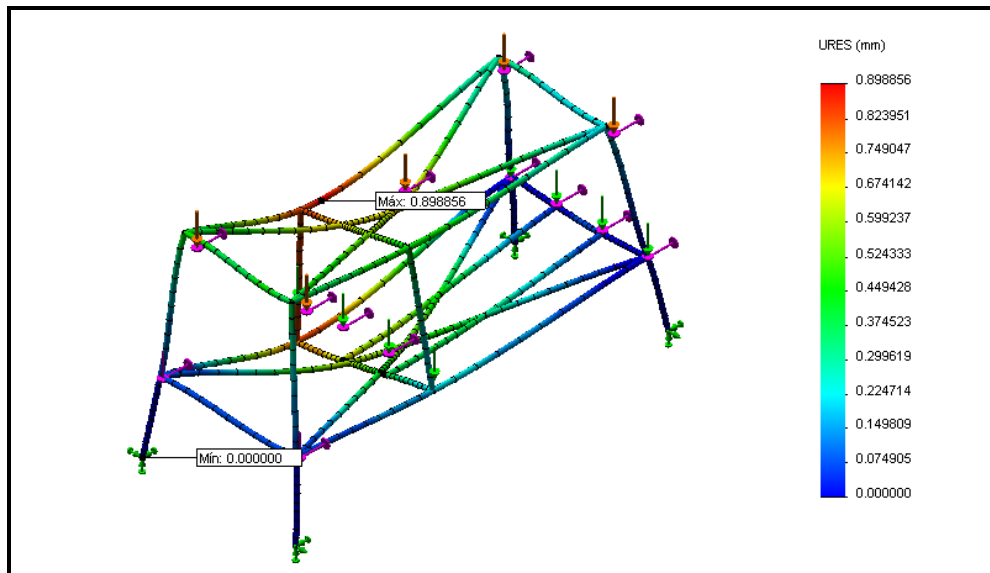


Figura 3.17.- Resultados de desplazamientos COSMOSWorks

Valores máximos de desplazamientos sobre las vigas superiores laterales de 0.89 mm y sobre la viga inferior de ese mismo lado con color rojo, la media de desplazamiento se encuentra en color verde con valores que se encuentran entre 0.52 y 0.37 mm, mientras que los extremos fijos cercanos al piso muestran valores mínimos.

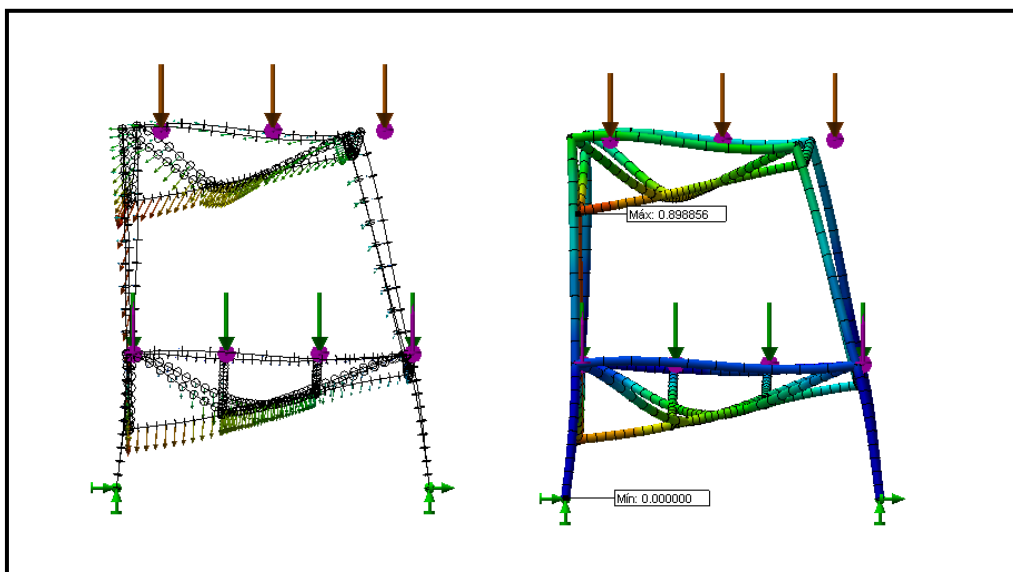


Figura 3.18.- Resultados de desplazamientos vista lateral de cargas COSMOSWorks

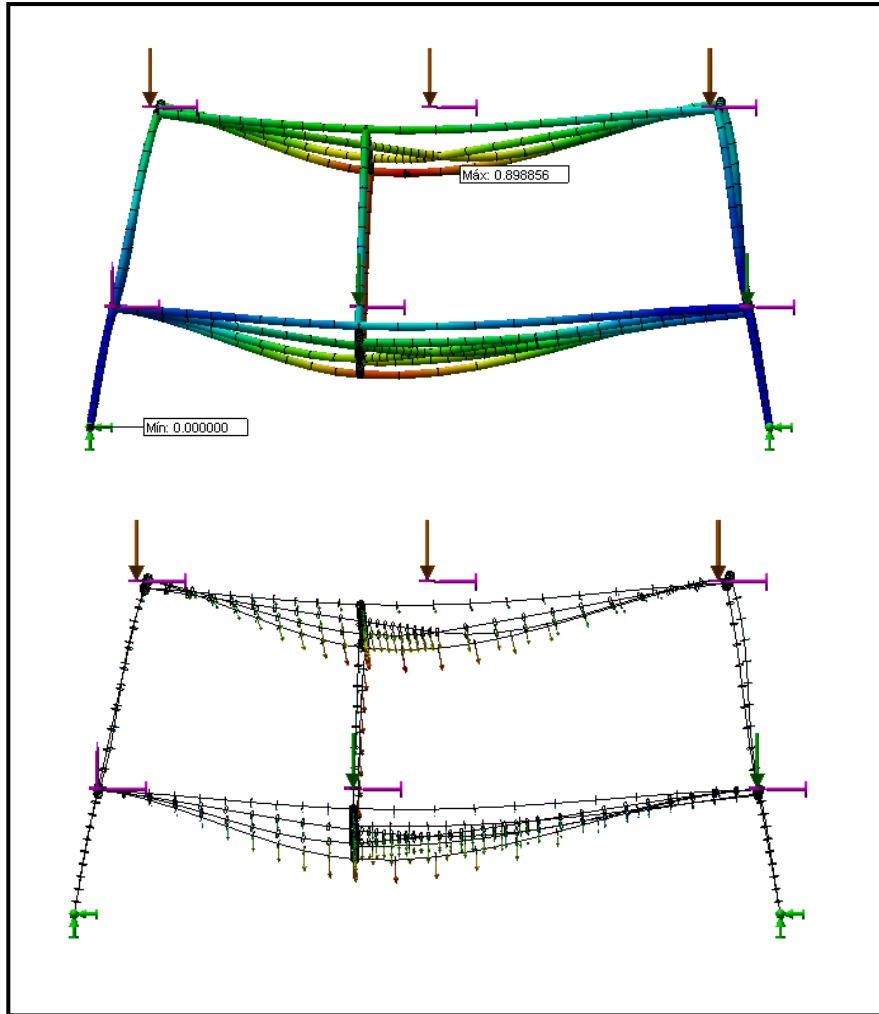


Figura 3.19.- Resultados de desplazamientos vista frontal

CAPÍTULO IV

DISEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

4.1.- SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO

Con los cálculos anteriores realizados en el capítulo 2.12, se selecciona el motor eléctrico; que brinda la fuerza y movimiento al ventilador de succión, este motor montado en la parte interior de la bancada es de marca WEG. Ver anexo C



Figura 4.1.- Motor eléctrico

Tabla IV.1.- Especificaciones motor

Potencia	1 HP
Voltaje	120 [v] o 240 [v]
Tipo	Monofásico
Rpm	3000 rpm

4.2- SELECCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS

La transferencia de calor teóricamente realizada, necesita de datos imprescindibles para el desarrollo de las formulas y su posterior resolución, datos como la temperatura de ingreso y salida de aire al banco de tubos, la presión del aire que ingresa así como la pieza o tubo de cobre con su respectiva salida de medición.

Todos estos datos son adquiridos y mostrados de manera digital por elementos o equipos electrónicos; facilitando su lectura, resolución y dejando atrás aquellos equipos análogos de errores de apreciación, difícil calibración y baja confiabilidad.

A continuación se detallaran los componentes y materiales electrónicos utilizados para la adquisición de datos con respecto al circuito que mide la temperatura, también los demás equipos encargados de la medición de presión diferencial:

Tabla IV.2.- Elementos electrónicos y eléctricos de obtención de datos

<i>Elementos del circuito de temperatura</i>	<i>Elementos del sensor de presión</i>
PIC16F87X	TUBO DE PITOT
SENSORES DE TEMPERATURA LM 35DZ	
DISPLAY 4x20 CON BACKLIGTH	TRANSMISOR DE PRESION
TECLADO MATRICIAL 4x4	
BAQUELITA DE 6x8	CONTROLADOR UNIVERSAL
CONECTOR SIP 2P, 4P, 6P, 16P	
CONDENSADORES 0,1uf/50v, 18/50v pf	SWITCH DE ENCENDIDO
CRISTAL 4Mhz	
RESISTENCIAS 4,7K – 1,2K	<i>Medidor de velocidad de aire</i>
REGULADOR LM7805	ANEMOMETRO
REGLETA MACHO 8P	

4.2.1.- PIC16F87X¹⁰

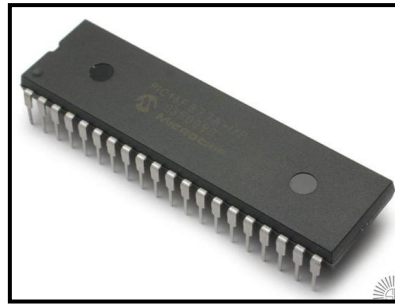


Figura 4.2.- PIC 16F87X

Ver anexo D

Pin Diagram

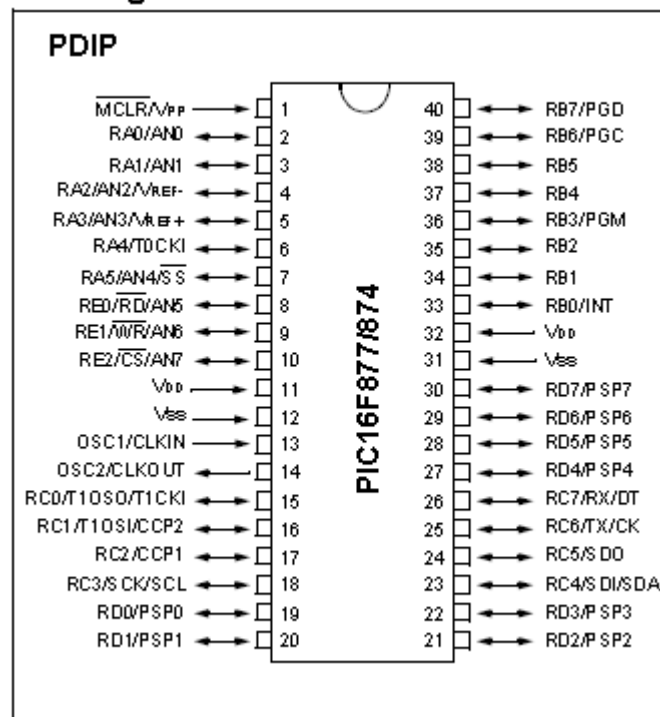


Figura 4.3.- Diagrama de pines

¹⁰ <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/2/05jyot4sj2f3f1diqk2w92h3ysy.pdf>

Datos:

- Calibrado directamente en Celsius (el Centígrado).
- Linealidad de 10.0 mV/°C con factor de escala.
- Exactitud de 0.5°C garantizado a 25°C.
- Rango que va desde -55°C a 150°C.
- Recomendable para las aplicaciones remotas.
- Bajo costo debido a su estructura sencilla.
- Opera de 4 a 30 voltios y a menos de 60 mA.
- Baja refrigeración, 0.08°C al aire.
- Desviación no lineal de ¼°C.
- Rendimiento de impedancia baja, 0.1 Ω para 1 carga de 1mA.

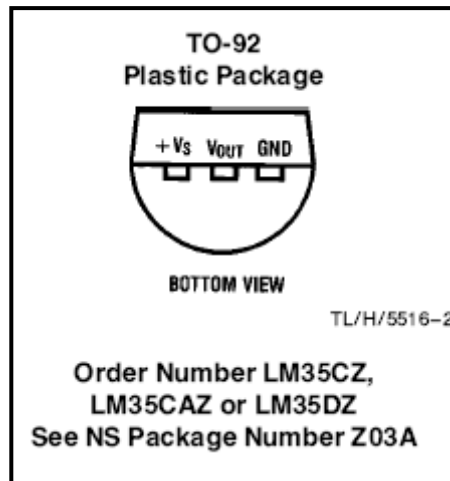


Figura 4.5.- Pines LM35

4.2.3.- DISPLAY 4x20 CON BACKLIGHT

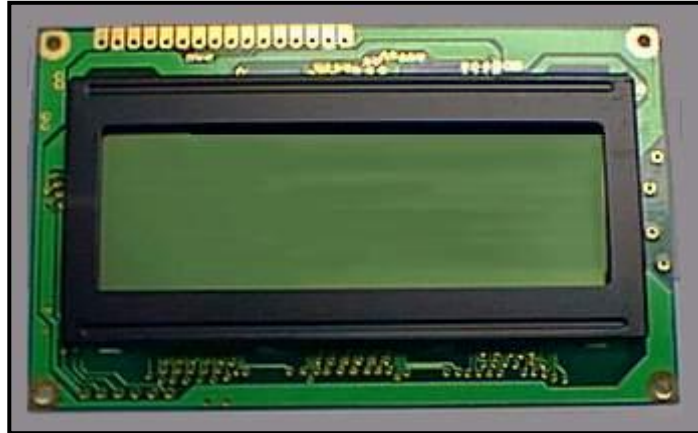


Figura 4.6.- Display

4.2.3.1.- Características

- 20 Caracteres x 4 Líneas.
- 5x7 Caracteres matriciales + Cursor.
- Alta definición 44780 Equivalente a un LCD.
- 4-bit o 8-bit MPU de interface.

4.2.3.2.- Especificaciones Técnicas

Medida del modulo en conjunto es de 98.0 x 60.0 x 9.5/14.0 mm, área de visualización amplia de 76.0 x 25.2 mm, y la medida de caracteres es de 2.95 x 4.75 mm, medida de los caracteres.

4.2.4.- TECLADO MATRICIAL 4x4

De uso común en los circuitos electrónicos consta de 16 teclas matricial (4x4), números del 0 al 9 las letras A, B, C, D, el asterisco y el numeral, fácil conexión y sencilla programación, las entradas de las teclas a los pines previamente programados alimentación Vcc de 5V a 12V.

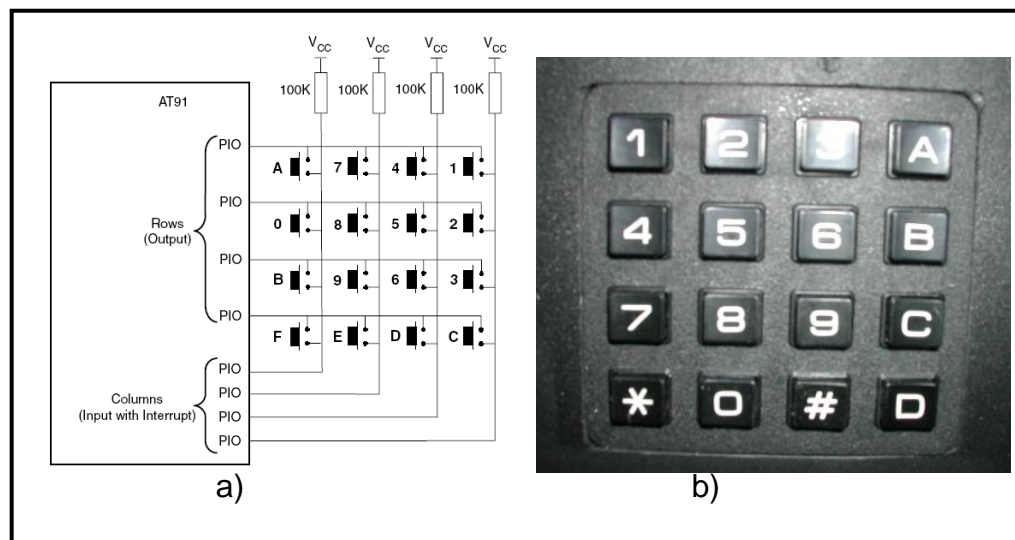


Figura 4.7.- a) Diagrama; b) Teclado

Los datos matriciados indican posición longitudinal y transversal minimizando la salida de las teclas de 16 pines a 8 pines.

4.2.5.- OSCILADOR

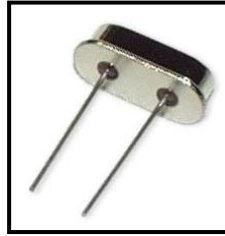


Figura 4.8.- Cristal 4MHz

Parte principal en el armado de un circuito con uso de microcontrolador, le da la velocidad de operación al pic, es como el motor dentro del circuito y le comanda el régimen de trabajo. Usa el mismo voltaje de operación del microcontrolador 9V funciona a 4MHz.

4.2.6.- ANEMÓMETRO



Figura 4.9.- Termo Anemómetro

El Termo-Anemómetro mide la velocidad del aire para la toma de datos dentro del túnel en el intercambiador de calor. Ver anexo E

Tabla IV.3.- Especificaciones del anemómetro

Pantalla	LCD Doble con dígitos de 3½ con indicadores de multifunción
Mediciones	Knots, Km/h, MPH, ft/m, m/s, fuerza Beaufort, enfriamiento del aire y temperatura (C/F)
Velocidad de viento	En movimiento 2 segundos prom. Con detención de ráfaga de 2 segundos.
Sensor	Balero de zafiro, veleta no corrosiva y termistor de precisión para temperatura.
Modo promedio	Selección de lecturas promedio de 5, 10, ó 13segundos.
Indicación máxima	Botón pulsador con llamada de la lectura más alta.
Retención de datos	Congela la lectura más reciente.
Tiempo de muestreo	1 lectura por segundo.
Resistencia al agua	Hasta 1 metro (3´)
Min/Max velocidad del aire	0.5 to 89 MPH
Temp. de operación	-15 a 50°C (5 a 122°F)
Humedad de operación	< 80% RH
Fuente de poder	Batería de litio tipo CR-2032 o equivalente.
Vida de la batería	400 horas aprox.
Peso	95 g (oz.)
Dimensiones	Instrumento: 133 x 70 x 19 mm (5.25 x 2.75 x 0.75") Veleta: 24 mm (1") de diámetro.

4.2.7.- CAUDALÍMETRO DE PRESIÓN DIFERENCIAL¹²

Los tubos de pitot multi-punto poseen la ventaja de proporcionar directamente más de una lectura por sección transversal así evitando colocar varios tubos de pitot convencionales en distintos puntos del conducto.

El sensor de flujo DS300 presenta características técnicas idóneas en cuanto a dimensión precisión y rango de medida. Está equipado con instrumento de válvulas de cierre en ambas conexiones de presión. Ver anexo E



Figura 4.10.- Sensor de Flujo

4.2.7.1.- Especificaciones

- Cabeza del sensor: maquinados en acero
- Válvulas: Standard, del tipo NPT 1/8 hembra
- Temperatura límite de válvula: 93.3°C
- Embalaje de glándula: metal para apliques de compresión CPI
- Tubo del sensor: acero 304

¹² http://www.dwyer-inst.com/Products/Product.cfm?Group_ID=327

4.2.8.- CONTROLADOR UNIVERSAL¹³

Cuando se lo utiliza en modo de control “PID Autotuning Experto” sintoniza automáticamente los parámetros en juego e implementa lazos de control de caudal, nivel o presión rápidamente sin que un operador necesite intervenir. Salida de control de 4 a 20 mA, con cálculos lineales entre el amperaje y la salida o muestra de valores. Comunicación para PC programación del set-point. Ver anexo E



Figura 4.11.- Controlador Universal

4.2.8.1.- Especificaciones

Encendido: 90- 250 VAC, 47 – 63 Hz, 10VA, 5W máximo.

11- 26 VAC / VCD, 10VA, 5W máximo.

- Resolución: 18 bits análogos y 15 bits digitales sub conversión análoga digital.
- Conversión análoga digital 5 veces por segundo.
- Conversión digital equipado con RS- 485 o RS- 232.
- Filtros digitales para establecer los procesos de valoración.

¹³ <http://www.brainchild.com.tw/>

4.2.9.- TRANSMISOR DE PRESIÓN (616-1)¹⁴

El transmisor de presión (Figura 4.12) registra la presión de aire y los gases compatibles envía una señal de rendimiento normal 4 - 20mA.

Los mandos de periodo y cero son para el uso al verificar la calibración. Ver anexo E

Tabla IV.4.- Modelos y rangos del transmisor de presión 616

Modelo	Rango	Press.max	Modelo	Rango	Press.max
616-00	0-1 in. w.c.	5 psig	616- 8	0-10 psig	58 psig
616-0	0-2 in. w.c.	5 psig	616- 9	0-20 psig	58 psig
616-1	0-3 in. w.c.	5 psig	616- 10	0-30 psig	58 psig
616-2	0-6 in. w.c.	5 psig	616- 11	0-50 psig	150 psig
616-3	0-10 in. w.c.	5 psig	616- 12	0-100 psig	150 psig
616-4	0-20 in. w.c.	11 psig	616- 3B	1.5-0-1.5 in.w.c.	5 psig
616-5	0-40 in. w.c.	11 psig	616- 6B	3-0-3 in. w.c.	5 psig
616-6	0-100 in. w.c.	29 psig	616- 10B	5-0-5 in w.c.	5 psig
616-7	0-20 in. w.c.	29 psig	616- 20B	10-0-10 in w.c.	11 psig



Figura 4.12.- Transmisor de presión 616-1

¹⁴ http://www.dwyer-inst.com/Products/Product.cfm?Group_ID=280

Tabla IV.5.- Características del transmisor de presión 616-1

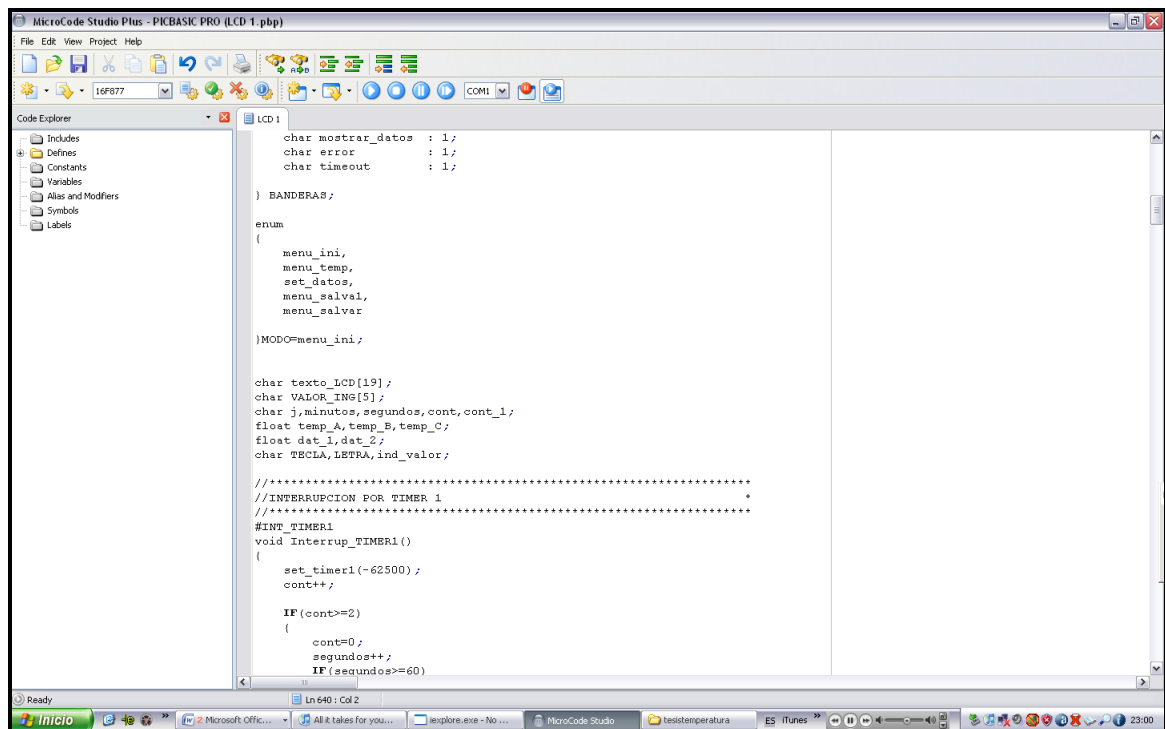
El servicio	aire y no combustible, gases compatibles
Exactitud	616: $\pm 0.25\%$ F.S. ; 616C: $\pm 1.0\%$ F.S.
Estabilidad	$\pm 1\%$
Límites de temperatura	20 a 120°F (-6.67 a 48.9°C)
Efecto termal/ térmico	616C: 0.070% / °F (0.125% / °C)
Requerimientos de potencia	10-35 VDC (2,3 o 4 cables); 16-26 VAC (4 cables)
Señal de rendimiento	4-20 mA
Ajustes del periodo y cero	Potenciómetro para cero y periodo
Resistencia	DC: 0-1250 ohms máximo AC: 0-1200 ohms máximo
Consumo en corriente	DC: 38 mA máximo; AC: 76 mA máximo
Peso	1.8 oz. (51 gr)

4.3.- DISEÑO DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO

El diseño y construcción del circuito electrónico con lleva un uso adecuado de herramientas en software, que permiten realizar de manera virtual la realización de cualquier circuito, con la ventaja de ser mas adaptables y con la seguridad de probarlos de manera anticipada, sin necesidad de adquirir los elementos.

4.3.1.- HERRAMIENTAS PARA EL DISEÑO ELECTRÓNICO, PROGRAMACIÓN, SIMULACIÓN Y CONSTRUCCIÓN

4.3.1.1.- Microcode studio all versions



```
MicroCode Studio Plus - PICBASIC PRO (LCD 1.pbp)
File Edit View Project Help
16F877 COM1
Code Explorer
Includes
Defines
Constants
Variables
Alias and Modifiers
Symbols
Labels
LCD 1
char mostrar_datos : 1;
char error : 1;
char timeout : 1;
} BANDERAS;
enum
{
menu_ini,
menu_temp,
set_datos,
menu_salvar1,
menu_salvar
}MODO=menu_ini;
char texto_LCD[19];
char VALOR_ING[5];
char j,minutos,segundos,cont,cont_1;
float temp_A,temp_B,temp_C;
float dat_1,dat_2;
char TBCLA,LEPRA,ind_valor;
//*****
//INTERRUPCION POR TIMER 1
//*****
#INT_TIMER1
void Interrup_TIMER1()
{
set_timer1(-62500);
cont++;
IF(cont>=2)
{
cont=0;
segundos++;
IF(segundos>=60)
```

Figura 4.13.- MicroCode studio all versions

Es un programa editor de códigos para la realización de programas bases de uso en microcontroladores y circuitos integrados, fácil para el programador debido a su faceta de Windows interactiva, sus iconos sencillos y su vialidad de manejo, así como su lenguaje lógico sencillo con comandos en BASIC, realiza compilación y depuración de errores.

4.3.1.2.- ISIS 6 professional

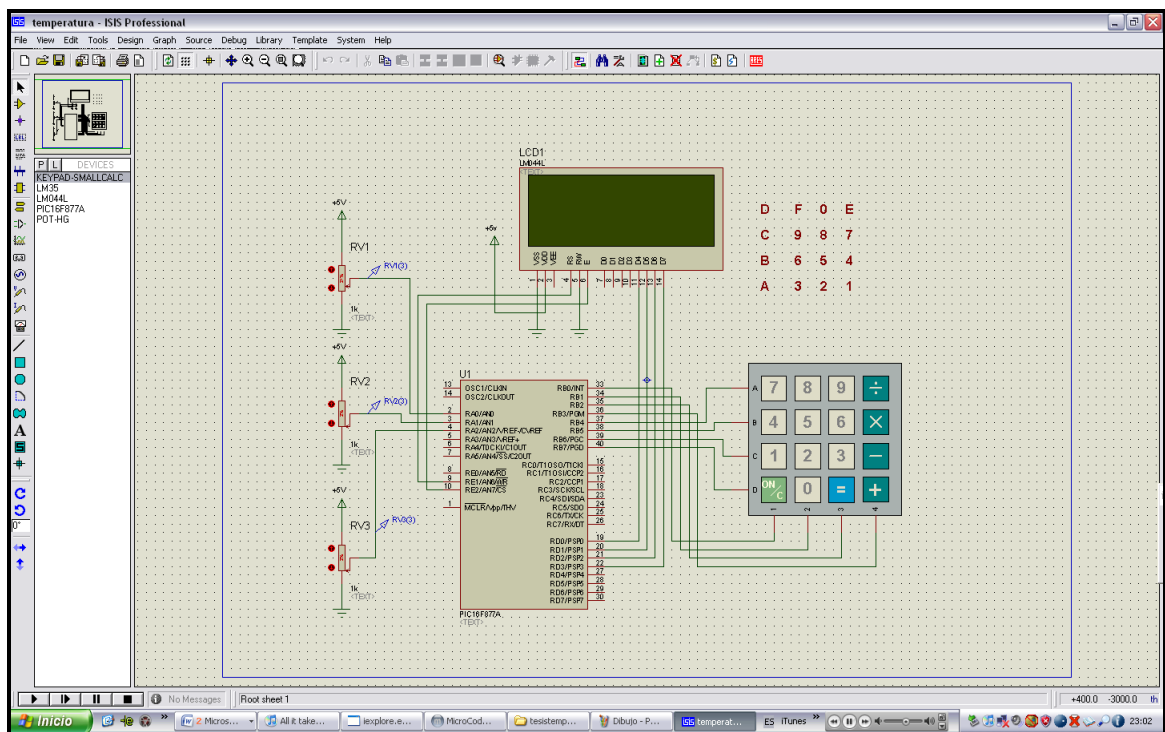


Figura 4.14.- MicroCode studio all versions

Isis es un programa constructor de circuitos electrónicos, con muchas aplicaciones a lo laboral, industrial y experimental; facilidad de manejo en cuanto a los componentes, extensa librería y base de datos de componentes que permite permutar varios circuitos con diferentes elementos, y por supuesto la función de simulación a tiempo real que permite depurar errores, la simulación se carga

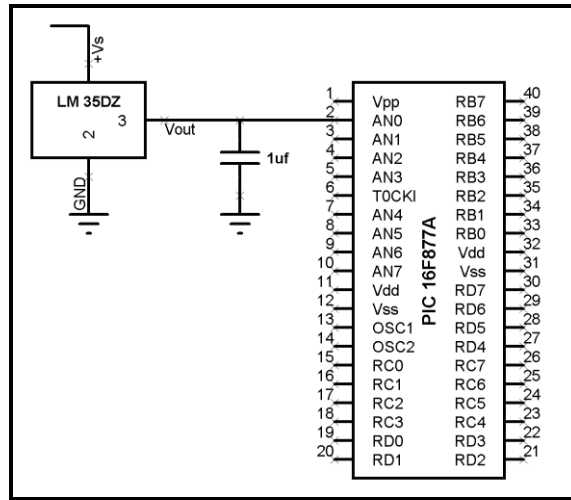


Figura 4.17.- Esquema eléctrico LM35DZ

4.3.3.- CONEXIÓN DE LA PANTALLA DISPLAY

El DISPLAY se alimenta con 5V a 12V en función normal, el pin 1 corresponde a tierra en el DISPLAY, el pin 2 es la alimentación de 5V, el pin 3 no se utiliza y también se lo conecta a tierra.

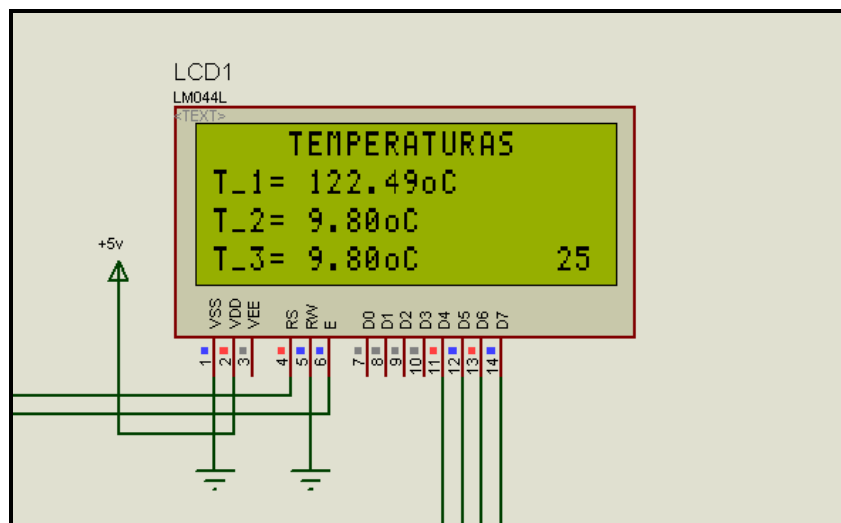


Figura 4.18.- Conexión del DISPLAY

Los pines RS (pin 4), RW (pin 5) y E (pin 6) se conectan con su respectivo pin etiquetado en el programa al PIC, en el caso de datos de 8 bits siempre se utilizan los últimos 4 pines del DISPLAY (D4, D5, D6, D7).

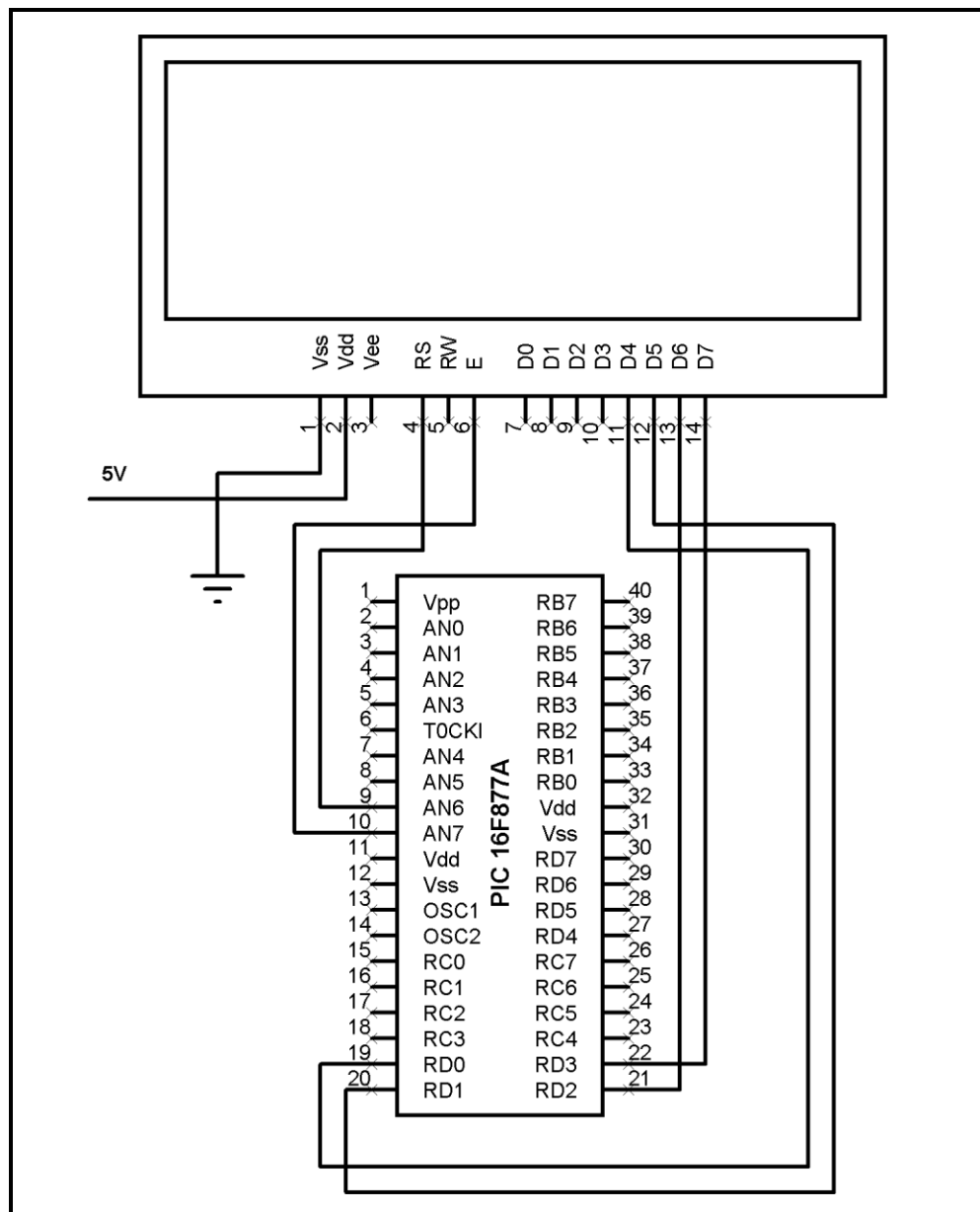


Figura 4.19.- Esquema eléctrico DISPLAY

4.3.4.- CONEXIÓN DEL TECLADO MATRICIAL

El teclado matricial dentro del funcionamiento de todo el circuito nos permite ingresar datos obtenidos de la presión diferencial, y guardarlos en la memoria del pic para después recordarlos.

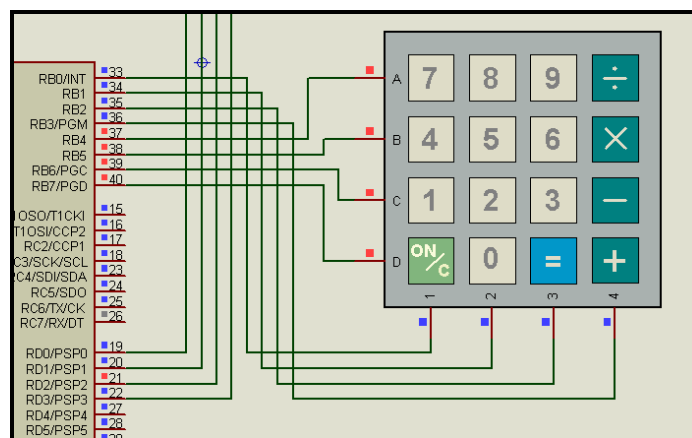


Figura 4.20.- Conexión del teclado hacia el Pic

Los datos matriciados tienen salida de 8 pines ahorrando espacio físico y pines de uso en el microcontrolador, además de los números del 1 al 9 tiene teclas que se le dará uso en el programa para otras funciones importantes.

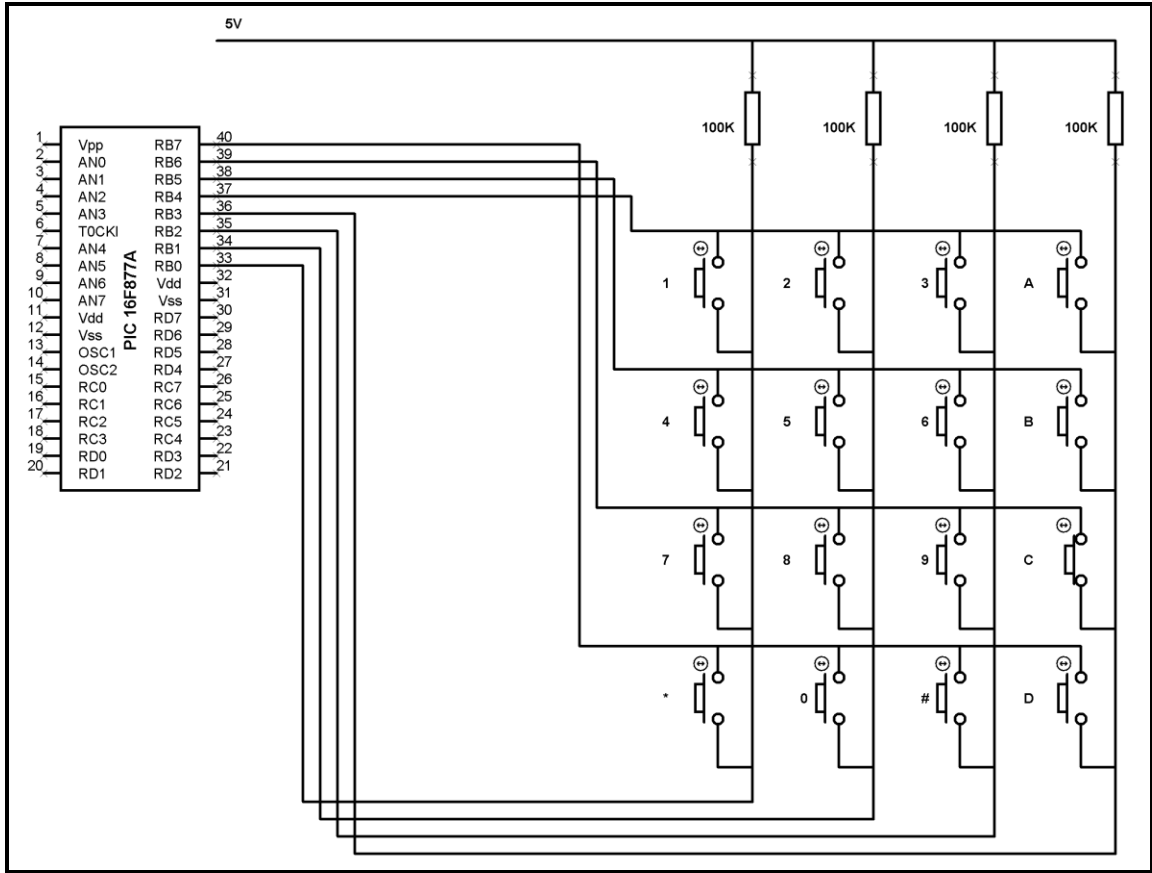


Figura 4.21.- Esquema eléctrico del teclado matricial

4.3.6.- DISEÑO DE LA PLACA DEL CIRCUITO

El diseño de la placa se lo realiza manualmente en ISIS y se trata de hacerlo lo más compacta posible por la cuestión de espacio físico.

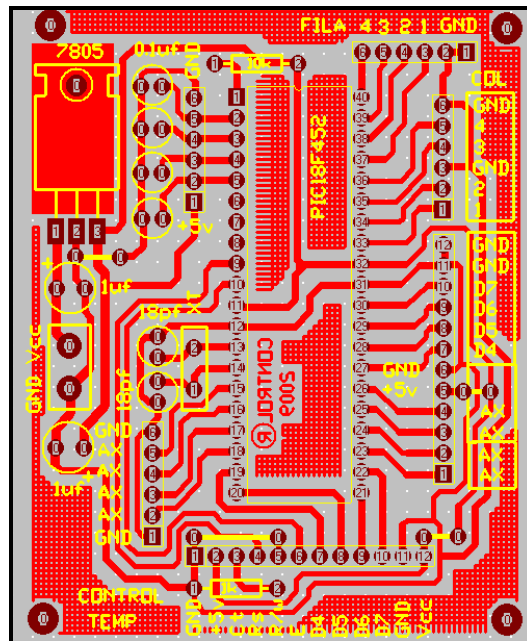


Figura 4.23.- Baquelita

4.4.- DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL DE POTENCIA

En la práctica, el control de dispositivos eléctricos de alto consumo de energía y amperaje se lo realiza con elementos de seguridad para evitar posibles cortocircuitos y daño de aparatos de accionamiento y también para comodidad del operario, para nuestro caso el control se remite exclusivamente a dos elementos, el motor de 1HP y la sección del calentador del tubo de cobre.

En lo posible se evita que los usuarios tengan la necesidad de conectar y desconectar los dispositivos cada vez que se use el banco de pruebas, por otro lado

se da la imposibilidad de conectar un switch de uso normal debido a que se trabaja con amperajes elevados, con la posibilidad de daño en el mismo.

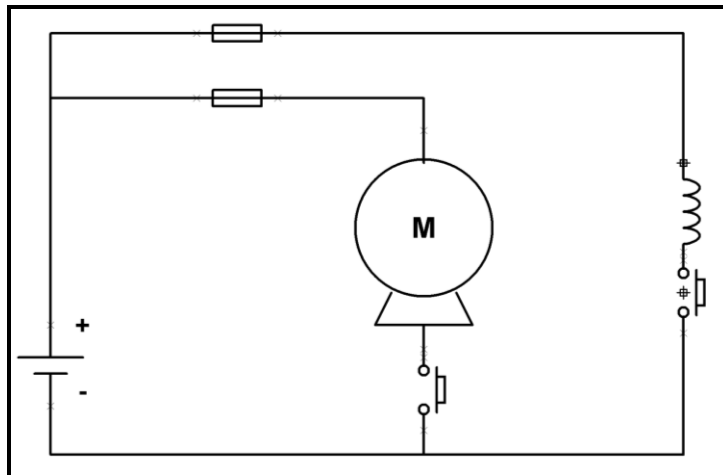
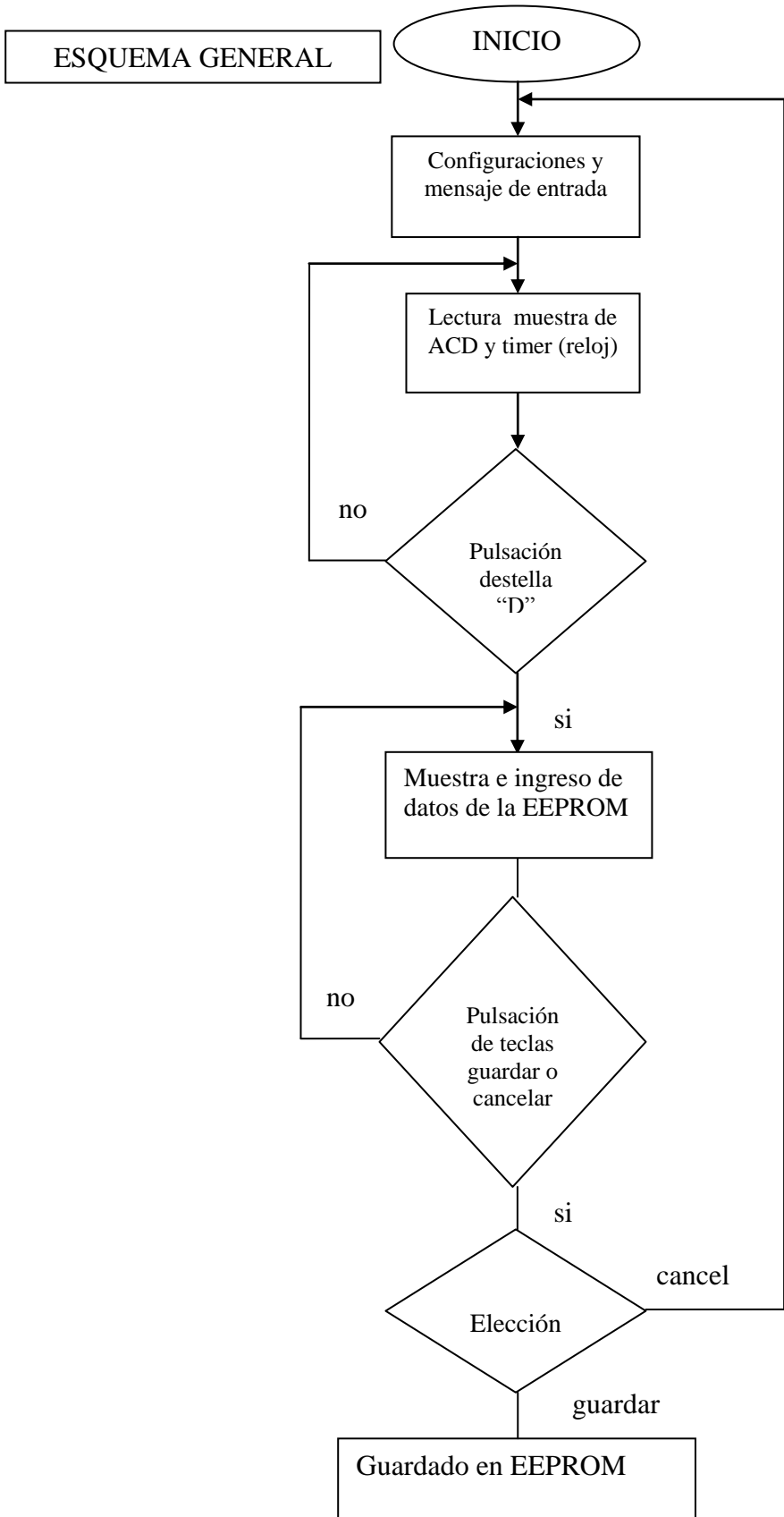


Figura 4.24.- Circuito de control de potencia

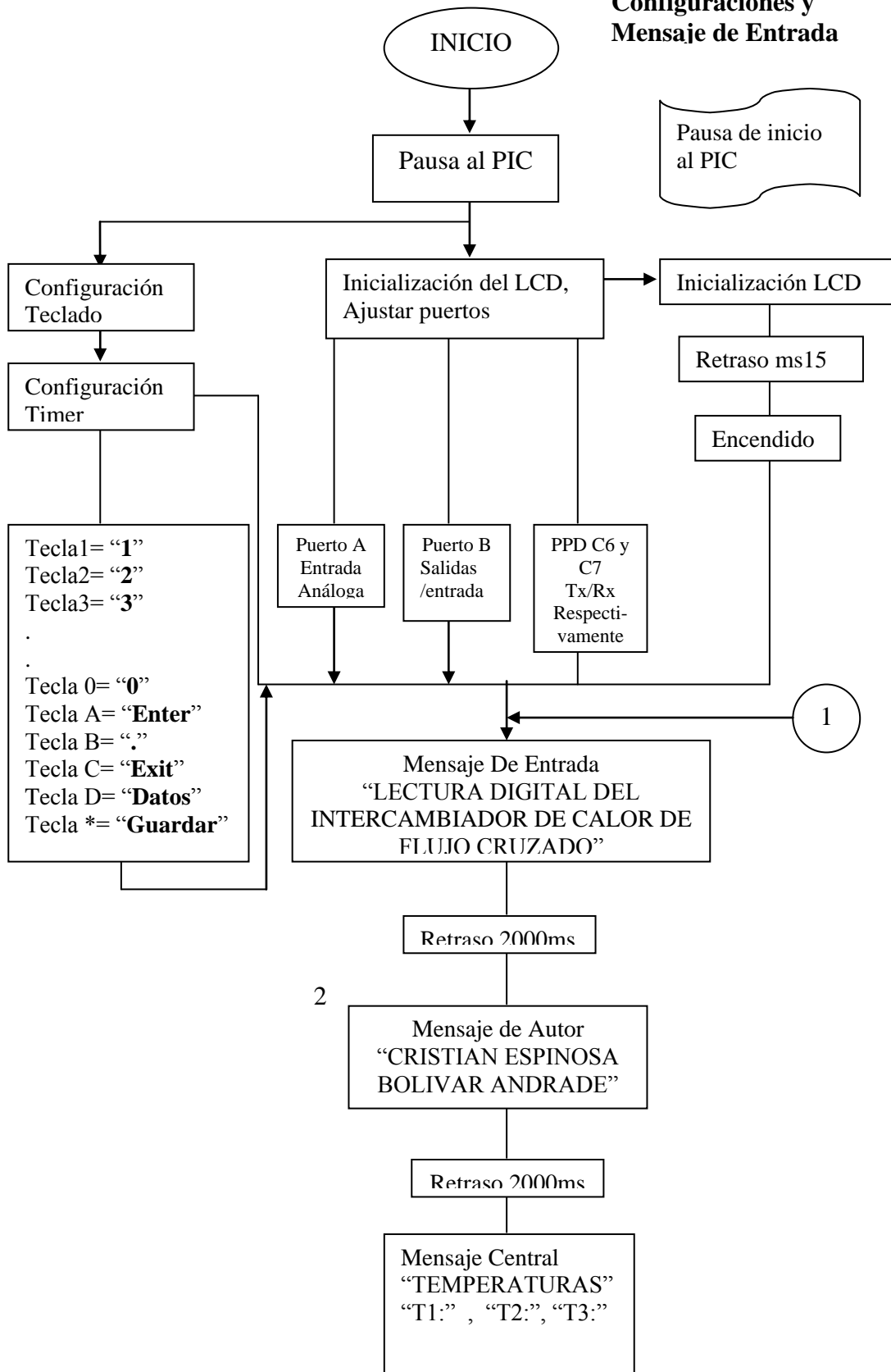
La conexión de los switch y el circuito es básico, la conexión de uno de los polos va directo a corriente alterna, el otro polo se dirige al switch que da el accionamiento normal al equipo como indica la figura 4.24.

4.5.- ELABORACIÓN DEL PROGRAMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

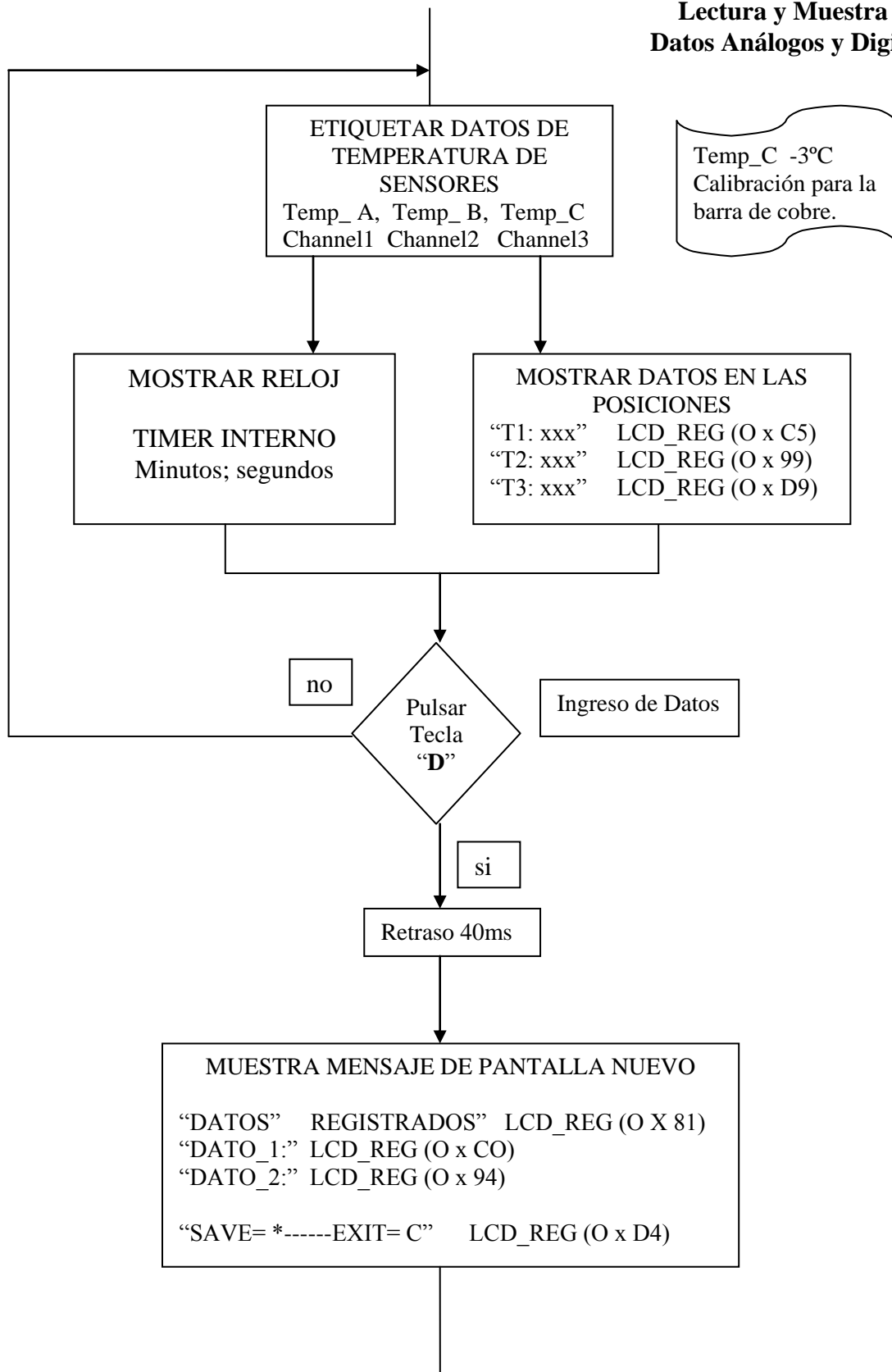
La elaboración del programa se desarrolla de aquí en adelante mediante diagramas de flujo para un mejor entendimiento y comprensión de las secuencia y orden del programa, Ver en anexo F, para la programación en proteus.

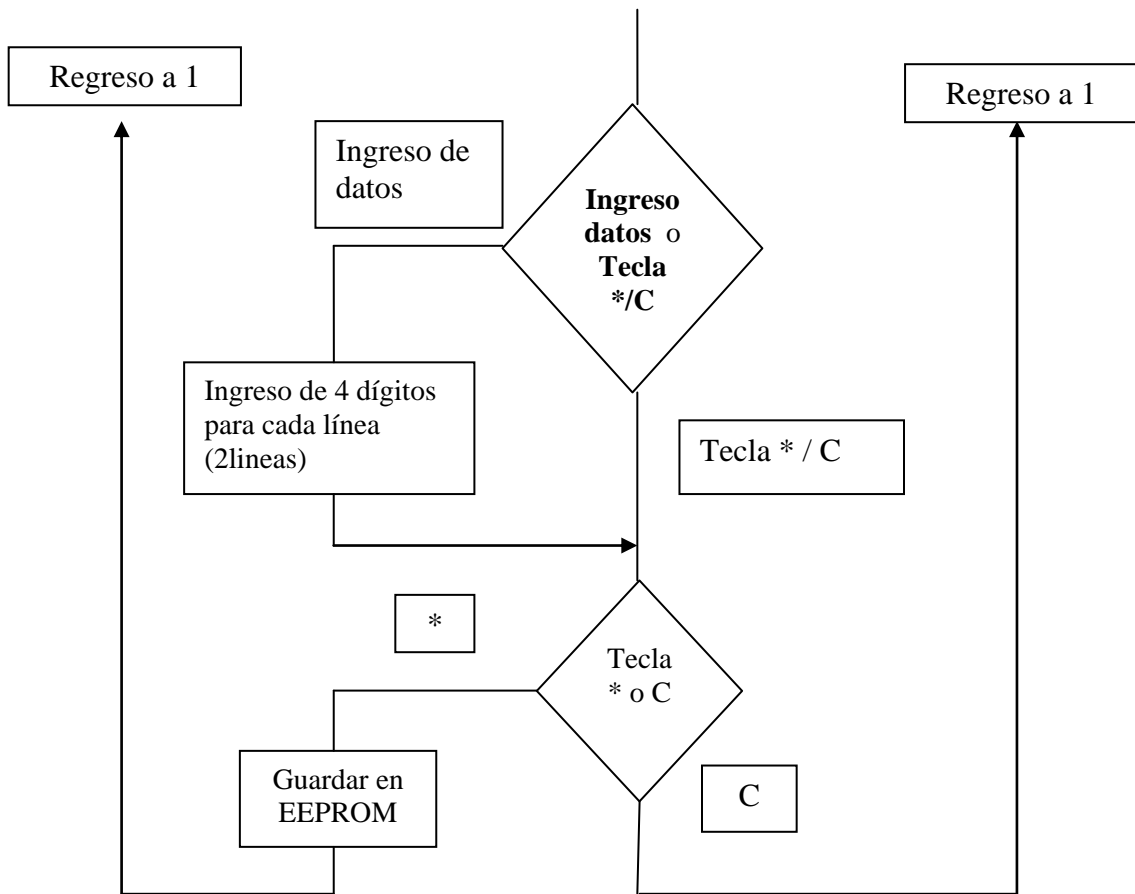


Configuraciones y Mensaje de Entrada



Lectura y Muestra de Datos Análogos y Digitales





CAPÍTULO V

CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLAJE

5.1.- CONSTRUCCIÓN DE LA BANCADA

La estructura por completo es de tubo cuadrado de 20 por 20 milímetros en acero ASTM A36M.

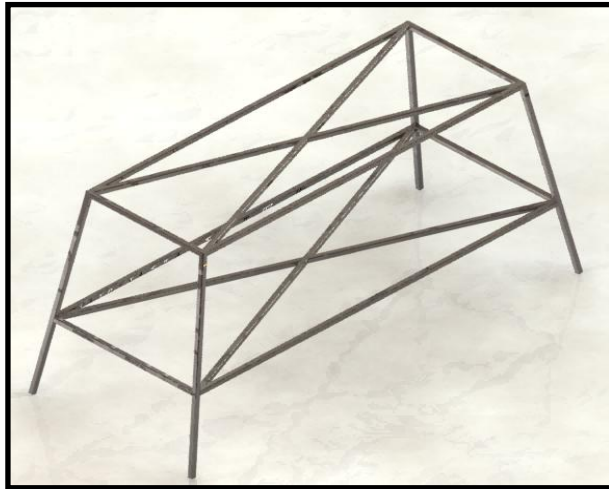


Figura 5.1.- Estructura metálica

Consta de cajones y planchas soldadas de acero inoxidable todo la estructura aloja al motor y demás elementos del intercambiador de calor y sistema de adquisición de datos digitales.

Plancha metálica

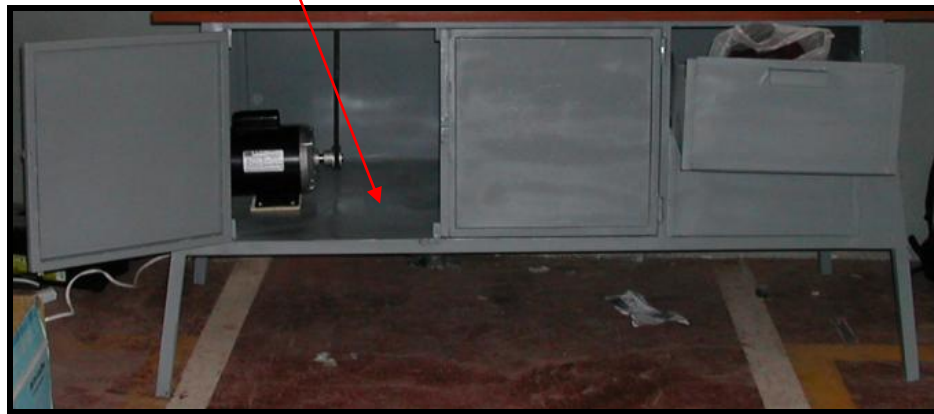


Figura 5.2.- Plancha metálica mesa

Lo siguiente es montar la tapa de madera la cual va hacer el soporte del túnel de viento como vemos en la figura 5.3.

Tapa de madera



Figura 5.3.- Tapa de madera mesa

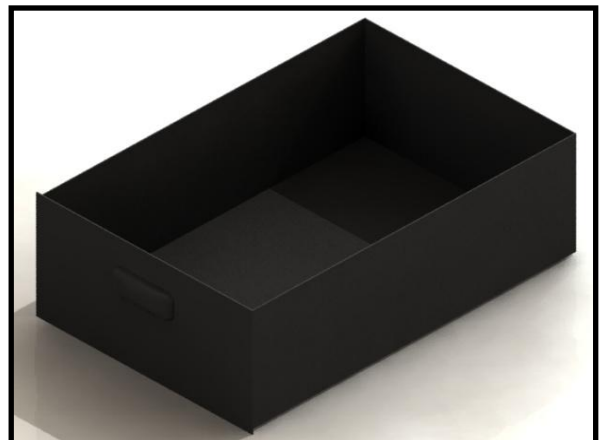


Figura 5.4.- Cajón metálico

5.2.- ENSAMBLE DE ELEMENTOS MECÁNICOS

Antes de instalar los elementos mecánicos mostraremos por graficas cuales son todas las piezas involucradas sin ningún orden aparente.



Figura 5.5.- Banda

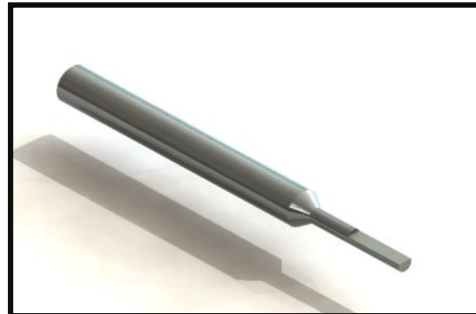


Figura 5.6.- Eje ventilador



Figura 5.7.- Motor



Figura 5.8.- Ventilador



Figura 5.9.- Cono de succión



Figura 5.10.- Túnel de ingreso



Figura 5.11.- Zona de pruebas



Figura 5.12.- Difusor



Figura 5.13.- Soporte ventilador



Figura 5.14.- Estrangulador



Figura 5.15.- Placa estranguladora

Primero instalamos el motor eléctrico (figura 5.7) dentro de la mesa del banco de pruebas atornillando al piso del mismo con un alza de madera (figura 5.16).

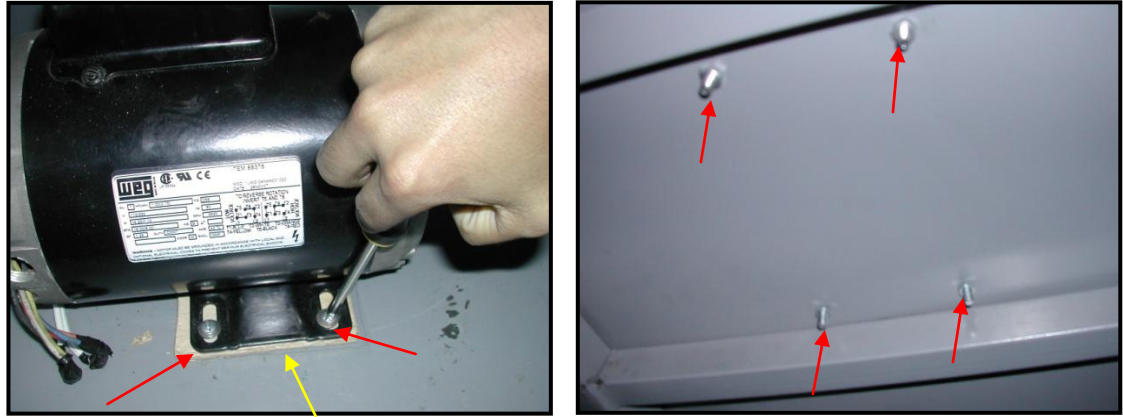


Figura 5.16.- Sujeción del motor

Para luego quedar anclado y fijo al soporte, luego se procederá a armar el soporte del ventilador (figura 5.13) y colocar la banda entre estas dos piezas; primero colocamos la polea al eje y la aseguramos con un tornillo prisionero (figura 5.17) luego introducimos la banda al soporte del ventilador (figura 5.18).



Figura 5.17.- Sujeción de polea al eje



Figura 5.18.- Banda en el soporte

Introducimos el eje al soporte (figura 5.19) y aseguramos la banda jalando hacia la polea, una vez dentro del canal la banda se libera y se atornilla la tapa del soporte asegurándolo fijamente (figura 5.20).



Figura 5.19.- Eje en el soporte



Figura 5.20.- Tapa de soporte

Para que el eje no se desplace se le coloca anillos retenedores para evitar el juego axial (figura 5.21).

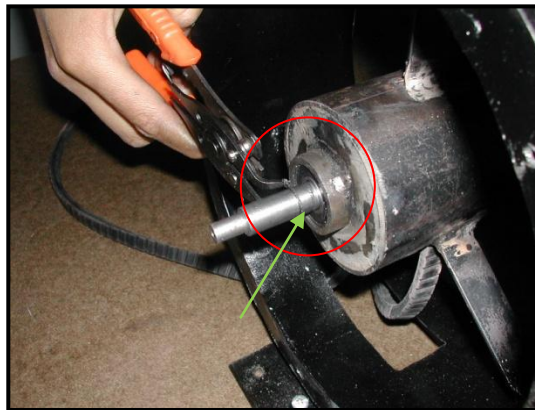


Figura 5.21.- Anillos de retención

Después, se coloca el soporte del ventilador (figura 5.13) al banco de pruebas atornillándolo fijamente con arandelas de presión (figura 5.22).



Figura 5.22.- Sujeción de soporte

Por último se atornilla el ventilador (figura 5.8) y el soporte está listo como se muestra en la figura 5.23.

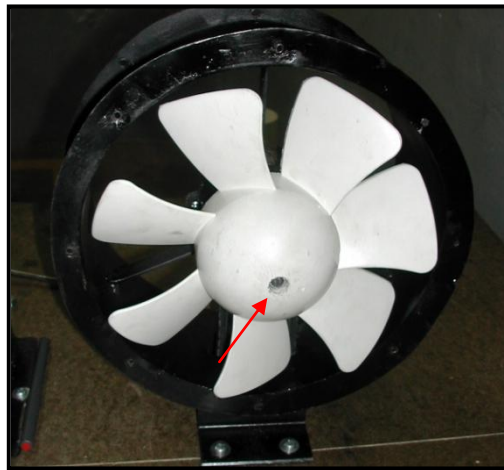


Figura 5.23.- Montaje ventilador

La banda se tensa por debajo hacia la polea del motor con la utilización de un destornillador como se muestra en la figura 5.24.

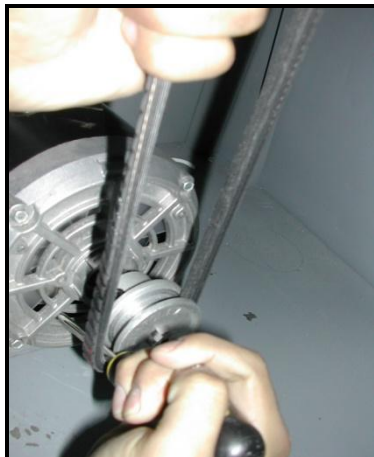


Figura 5.24.- Instalación de banda a polea

Finalizado el soporte, se coloca el estrangulador (figura 5.14) en la base del mismo con los pernos de sujeción (figura 5.25).

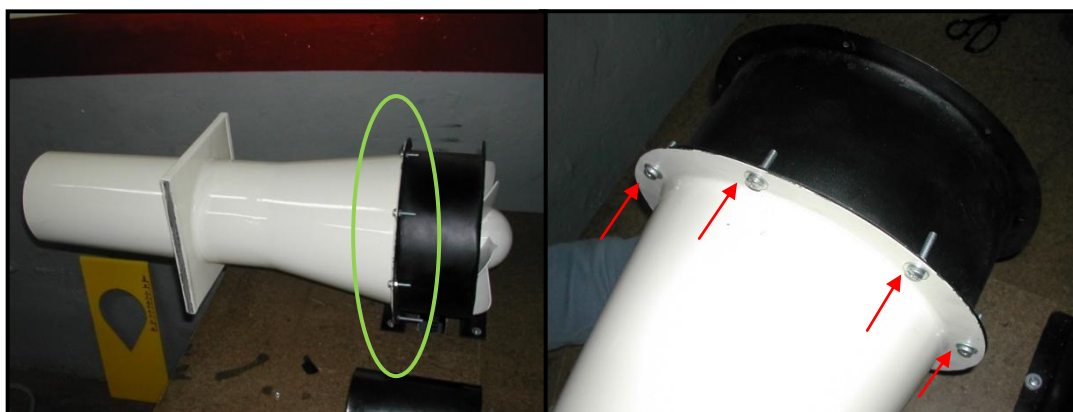


Figura 5.25.- Sujeción soporte estrangulador

Se introduce en el cajetín la placa estranguladora (figura 5.15) con la regulación en porcentajes ya marcada (figura 5.26).



Figura 5.26.- Regulación en porcentajes

Por adelante, se coloca el difusor con la sujeción de pernos y su empaque, teniendo cuenta que la guía de los pernos se ubica en la parte inferior.



Figura 5.27.- Instalación difusor

Esta pieza se conectara con la zona de pruebas (figura 5.11) hecho en plexiglás por medio de empaques y pernos (figura 5.28); el plexiglás también se atornillara con el túnel de ingreso y esta descansara sobre el primer soporte (figura 5.29).



Figura 5.28.- Instalación zona de pruebas

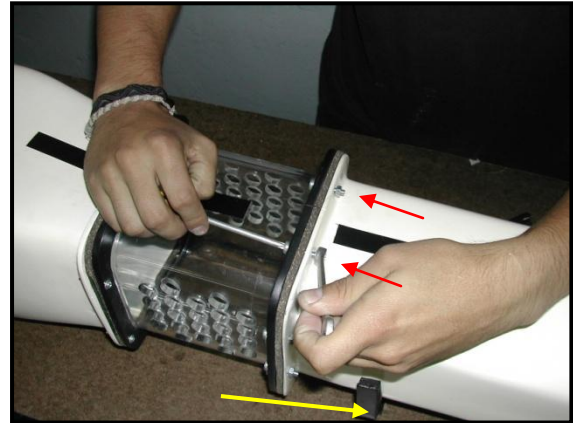


Figura 5.29.- Armado zona de pruebas

Después de colocado el túnel de ingreso en el primer apoyo, se coloca finalmente el cono de succión (figura 5.9) sobre el segundo apoyo (figura 5.30).



Figura 5.30.- Instalación cono de succión

Finalmente los elementos mecánicos están listos y dispuestos sobre el banco, el próximo paso será colocar los elementos eléctricos y electrónicos.

5.3.- ENSAMBLE DE ELEMENTOS ELECTRÓNICOS Y ELÉCTRICOS

5.3.1.- INSTALACIÓN DEL CALENTADOR

Para el ensamble del calentador del tubo de cobre, se utilizará el bocín realizado a medida con las patas de sujeción. A continuación en todo el contorno del bocín se colocara el cable de resistencia de 500W, que se sujetaran al cable de conexión de corriente a 110 V (figura 5.31), seguido a esto procedemos a sujetar las bases del calentador a la mesa de pruebas (figura 5.32).

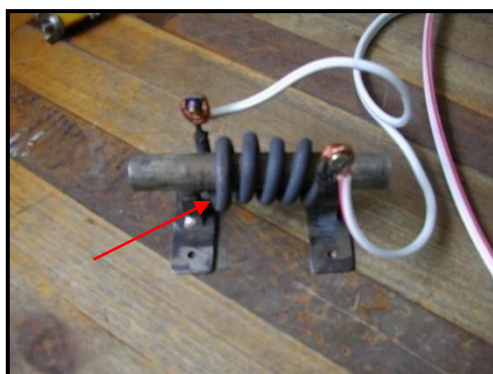


Figura 5.31.- Cable de resistencia

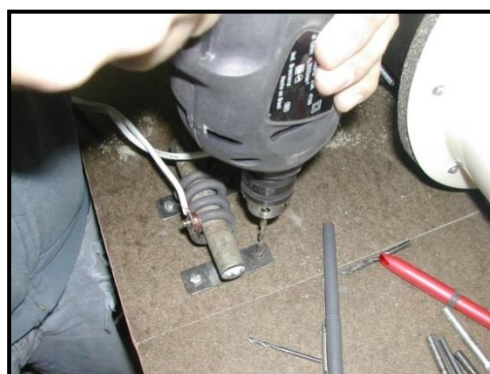


Figura 5.32.- Sujeción a la mesa

Luego de instalar el calentador en la mesa de pruebas, colocamos la carcasa que servirá de protección para el calentador (figura 5.33).



Figura 5.33.- Carcasa calentador

Luego colamos las tapas laterales y atornillamos el conjunto a la mesa.

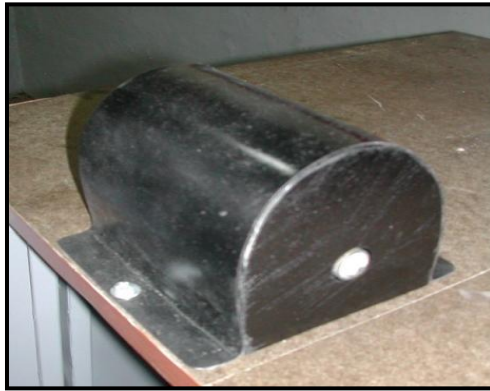


Figura 5.34.- Tapas calentador

5.3.2.- INSTALACIÓN DE CAJETÍN Y SENSORES

Para sujetar el cajetín, se elabora un soporte con platina que se sujeta a la mesa, para finalizado esto pegar un adhesivo de doble faz que fijara la placa y el cajetín en su posición



Figura 5.35.- Soporte

Del cajetín del sistema de adquisición de datos, salen los tres cables conectados a los sensores que se colocaran en el banco de pruebas, el primero (figura 5.36) se coloca al tubo de cobre y los otros al túnel (figura 5.37)



Figura 5.36.- Eje de cobre con sensor



Figura 5.37.- Sensor encapsulado

Los sensores que van en el tubo ya encerrados en su bulbo de protección (figura 5.37), se colocan dentro del túnel de viento por ranuras realizadas (figura 5.38) y se las coloca a presión (figura 5.39).



Figura 5.38.- Agujero túnel de ingreso

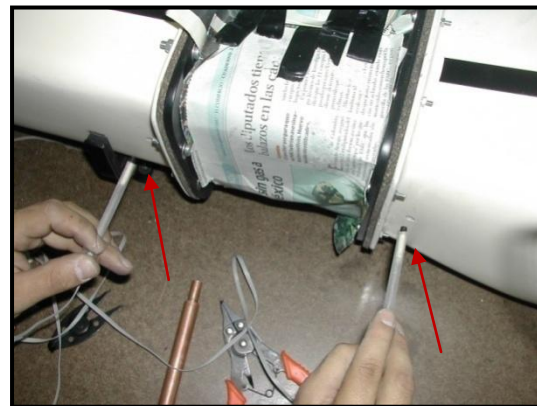


Figura 5.39.- Instalación sensor

5.3.3.- INSTALACIÓN SWITCH DE CONTROL

Por último se conectan los switch del control de potencia, que serán los encargados de encender al calentador.

Los switch constan de un contactor que se enclava por acción mecánica y se desactiva con la acción del botón Off, es de carcasa metálica con su debido aislante.



Figura 5.40.- Switch

Se escoge los lugares donde se colocaran los switch y se perforan los huecos de sujeción, y los agujeros por donde los cables se colocaran.



Figura 5.41.- Sujeción del cajetín

Se conectan según el esquema eléctrico diseñado previamente, se arma el cajetín y quedan listos para usarse.



Figura 5.42.- Switch armado

El switch del calentador se coloca sobre la mesa y el switch del motor se ubica a un lado de la mesa (figura 5.44).



Figura 5.43.- Switch del calentador



Figura 5.44.- Switch del motor

5.3.4.- INSTALACIÓN CONTROLADOR UNIVERSAL Y TRANSMISOR DE PRESIÓN

Por último fijaremos el display y el transmisor de presión del tubo de pitot a la bancada, para esto realizamos un orificio de ajuste a medida para el controlador y lo introducimos a presión.



Figura 5.45.- Controlador Universal

Lo siguiente es conectar el switch de encendido del controlador realizando un orificio en la plancha de madera y la conexión del equipo al controlador.



Figura 5.46.- Switch del controlador



Figura 5.47.- Orificio del interruptor

Una vez instalado se procede a conectar según el manual las entradas de alimentación y señal en los pines correspondientes.



Figura 5.48.- conexión de los pines

Después ubicamos y fijamos el transmisor de presión en posición horizontal recomendado por el fabricante. El equipo viene calibrado desde fábrica con valores de salida de entre los 4 a los 20 mA, que varían entre las lecturas máximas de 0 y 3 pulgadas de agua.



Figura 5.49.- fijación del transmisor

Por último se procede a encender el equipo y verificar su correcta conexión.



Figura 5.50.- controlador encendido

5.4.- ENSAMBLE DE ELEMENTOS HIDRÁULICOS

Primero nos disponemos a colocar el tubo de pitot delante del banco de tubos, perforamos la guía donde ajustara el perno de sujeción.



Figura 5.51.- orificio de tubo

A continuación con el agujero a medida procedemos a colocar el perno de enclavamiento donde ajustara el tubo de pitot y quedara fijo.



Figura 5.52.- perno de sujeción de tubo

Unimos las mangueras de medición tanto la de alta y baja presión con los respectivos acoples.



Figura 5.53.- conductos del tubo de pitot

Por último sujetamos el tubo de pitot al perno de sujeción en la fibra de vidrio y de igual manera las mangueras de medición a sus respectivos puertos.



Figura 5.54.- Sujeción del tubo



Figura 5.55.- Tubo de pitot sujetado

5.5.- VISTA GENERAL DEL BANCO DE PRUEBAS



Figura 5.56.- Banco de Pruebas

CAPÍTULO VI

PRUEBAS, INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN

6.1.- PRUEBAS DE ENSAYO

Para la realización de las pruebas primero se coloca todos los tubos de nylon en los orificios de la zona de pruebas, luego se coloca al eje en 5 posiciones de forma diagonal como muestra la figura 6.1.

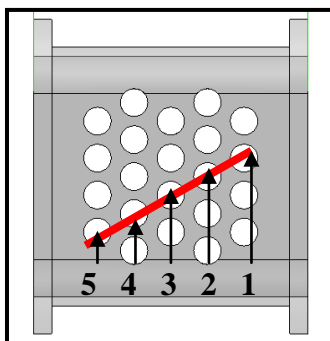


Figura 6.1.- Posiciones del eje de cobre

Para cada posición del eje de cobre se realiza tres pruebas que corresponden a tres posiciones diferentes del estrangulador 100, 50 y 10%. Se calienta al eje a 75°C, luego se coloca en la zona de pruebas, se enciende el banco de pruebas y a intervalos de 5°C, se toma el tiempo con un cronometro hasta llegar a 25°C, todos estos valores van anotamos en la (tabla VI.2).

Tabla VI.1.- Nomenclatura de la práctica

Diámetro del elemento	D	m
Largo del elemento	L	M
Largo efectivo del elemento	L_1	M
Área efectiva del elemento	A_1	m^2
Distancia horizontal entre los tubos (2cm)	S_T	cm
Distancia vertical entre los tubos (2cm)	S_L	cm
Masa del element	m	Kg
Calor específico del cobre (=380)	c_p	$J/Kg \text{ deg } C$
Conductividad termica del cobre	k	$J/Kg \text{ deg } C$
Presión del caudalimetro	H_1	N/m^2
Temperatura del aire	T_A	$^{\circ}K$
Velocidad de entrada	V_1	m/s
Densidad del aire	ρ	Kg/cm^3
Calor específico del aire a presión constante	C_p	$J/Kg \text{ deg } C$
Viscosidad del aire	μ	Kg/ms
Conductividad térmica del aire	K	$J/Kg \text{ deg } C$
Temperatura del elemento	T	$^{\circ}K$
Coefficiente de calor transferido	h	$J/m^2 s \text{ deg } K$
Numero de Nusselt (hd/K)	Nu	
Numero de Preandtl (Cp^u/K)	Pr	
Numero de Reynolds (pVd/u)	Re	

Dimensiones nominales

Área de la sección de trabajo	56.549 [cm]
Largo de la sección de trabajo	15 [cm]
Largo efectivo de trabajo	12 [cm]
Diámetro de los elementos	1.5 [cm]

6.1.1.- ECUACIONES DE CÁLCULOS

Velocidad del aire:

Para la primera fila de tubos:

$$V_{max} = V_1 = \text{Velocidad medida por el anemometro}$$

Para el resto de filas:

$$V_{max} = \frac{S_T}{S_T \cdot D} \cdot V_1$$

Taza de transferencia de calor:

$$q = hA_1(T - T_A)$$

Área efectiva del elemento:

$$A_1 = D \cdot \pi \cdot L_1$$

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot V_{max} \cdot d}{\mu}$$

Número de Prandtl:

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{K}$$

Número de Nusselt:

$$Nu = 1.15 \cdot (Re)^{\frac{1}{2}} \cdot (Pr)^{\frac{1}{3}}$$

Coefficiente de transferencia de calor:

$$h = \frac{Nu \cdot K}{d}$$

6.1.1.1.- Ejemplo de cálculos

Cálculos para la primera posición en la fila con apertura al 100%.

Primera posición: (100%).

Se llena la siguiente tabla con los datos obtenidos de la práctica en la primera posición, a 100% de apertura de la placa.

Tabla VI.2.- Tabla de datos: primera posición, 100% apertura

$T_A = \frac{T_{an} + T_{eq}}{2} = 12,64^{\circ}\text{C}$					
Temp $^{\circ}\text{C}$	Temp $^{\circ}\text{K}$	H_1 (in Wc)	T (seg)	Velocidad del anem.	Velocidad max.
75	353	0,50	0	9,4	9,4
70	348	0,50	19,23	9,5	9,5
65	343	0,52	34,88	9,4	9,4
60	338	0,52	48,27	9,4	9,4
55	333	0,52	1'03,72	9,5	9,5
50	328	0,52	1'13,97	9,5	9,5
45	323	0,52	1'37,97	9,4	9,4
40	318	0,52	2'01,79	9,5	9,5
35	313	0,51	2'18,88	9,5	9,5
30	308	0,52	2'45,05	9,5	9,5
25	303	0,51	3'27,34	9,5	9,5

Para la primera fila de tubos

Velocidad maxima = velocidad medida por el anemometro en la boca del tunel

$$V_{max} = 9.4 \frac{m}{s}$$

Para el resto de filas

$$Velocidad\ maxima = \frac{S_T}{S_T - D} \cdot V_{anm}$$

Temperatura del anemómetro $T_{an} = 13.5\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatura de ingreso de aire medida por el sensor: $T_{eq} = 11.78\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$T_A = \frac{T_{an} + T_{eq}}{2}$$

$$T_A = 12.64\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Transformamos la temperatura de Centígrados a grados Kelvin.

$$T_A = 285.64\text{ }^{\circ}\text{K}$$

Y observamos las propiedades del aire a la temperatura T_A en el anexo G, para todos los casos se deberá interpolar los valores de las propiedades.

Propiedades del aire a 285.64 °K

Tabla VI.3.- Propiedades del aire a 285.6 °K

Densidad $\rho = \left(\frac{kg}{m^3}\right)$	Calor específico $C_p = \left(\frac{J}{kg \cdot ^{\circ}K}\right)$	Viscosidad $\mu \cdot 10^{-7} = \left(\frac{N \cdot s}{m^2}\right)$	Conductividad Térmica $k \cdot 10^{-3} = \left(\frac{W}{m \cdot ^{\circ}K}\right)$
1.2284	1006.71	177.42	25.1512

Con las propiedades del aire calculamos el número de Prandtl, Reynolds, Nusselt y el logaritmo de $(T - T_A)$ para cada valor, para después calcular los valores promedios y encontrar el coeficiente de transferencia de calor promedio:

Logaritmo de $(T - T_A)$:

$$\log_{10}(T - T_A) = 1.79$$

Número de Prandtl:

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{K} = 0.7101$$

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot V_{max} \cdot D}{\mu} = 9762.4$$

Número de Nusselt:

$$Nu = 1.15 \cdot (Re)^{\frac{1}{2}} \cdot (Pr)^{\frac{1}{3}} = 101.37$$

Coefficiente de transferencia de calor:

$$h = \frac{Nu \cdot K}{D} = 169.97 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]$$

Además de;

Número de prandtl promedio:

$$\sum Pr = Pr_{prom} = 0.7101$$

Número de Reynolds promedio:

$$\sum Re = Re_{prom} = 9828.52$$

Número de Nusselt promedio:

$$Nu_{prom} = 1.15 \cdot (Re_{prom})^{\frac{1}{2}} \cdot (Pr_{prom})^{\frac{1}{3}} = 101.714$$

Coefficiente de transferencia de calor promedio:

$$h_{prom} = \frac{Nu_{prom} \cdot K}{D} = 170.55 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]$$

Se llena todas las tablas para las cinco posiciones del tubo en la zona de pruebas y para las tres posiciones del estrangulador. En las pruebas de ensayo se obtuvieron los siguientes datos y cálculos:

Primera posición: (100%).

$T_A = \frac{T_{an} + T_{eq}}{2} = 12,64^\circ\text{C}$					RESULTADOS				
T $^\circ\text{C}$	Temp $^\circ\text{K}$	$T - T_A$	H_1 in Wc	T (seg)	V_1 (m/s) v. an	V (m/s) V. max.	Log10 ($T - T_A$)	Pr	Re
75	353	62,36	0,50	0	9,4	9,4	1,79	0,7101	9762,4
70	348	57,36	0,50	19,23	9,5	9,5	1,75	0,7101	9866,3
65	343	52,36	0,52	34,88	9,4	9,4	1,72	0,7101	9762,4
60	338	47,36	0,52	48,27	9,4	9,4	1,68	0,7101	9762,4
55	333	42,36	0,52	1'03,72	9,5	9,5	1,63	0,7101	9866,3
50	328	37,36	0,52	1'13,97	9,5	9,5	1,57	0,7101	9866,3
45	323	32,36	0,52	1'37,97	9,4	9,4	1,51	0,7101	9762,4
40	318	27,36	0,52	2'01,79	9,5	9,5	1,44	0,7101	9866,3
35	313	22,36	0,51	2'18,88	9,5	9,5	1,35	0,7101	9866,3
30	308	17,36	0,52	2'45,05	9,5	9,5	1,24	0,7101	9866,3
25	303	12,36	0,51	3'27,34	9,5	9,5	1,09	0,7101	9866,3
Prom=					9,464	9,464	1.53	0.7101	9828.52

$$h_{prom} = 170,55 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]; Nu_{prom} = 101,71$$

(50%)

$T_A = \frac{T_{an} + T_{eq}}{2} = 12,64^\circ\text{C}$					RESULTADOS				
T $^\circ\text{C}$	Temp $^\circ\text{K}$	$T - T_A$	H_1 in Wc	T (seg)	V_1 (m/s) v. an	V (m/s) V. max.	Log10 ($T - T_A$)	Pr	Re
75	353	62,36	0,41	0	7,7	7,7	1,79	0,7101	7996,88

70	348	57,36	0,41	27,84	7,7	7,7	1,75	0,7101	7996,88
65	343	52,36	0,39	38,27	7,7	7,7	1,71	0,7101	7996,88
60	338	47,36	0,39	1'01,85	7,8	7,8	1,68	0,7101	8100,73
55	333	42,36	0,40	1'11,04	7,7	7,7	1,63	0,7101	7996,88
50	328	37,36	0,41	1'25,26	7,7	7,7	1,57	0,7101	7996,88
45	323	32,36	0,41	1'48,43	7,7	7,7	1,51	0,7101	7996,88
40	318	27,36	0,41	2'11,82	7,7	7,7	1,44	0,7101	7996,88
35	313	22,36	0,41	2'35,11	7,7	7,7	1,35	0,7101	7996,88
30	308	17,36	0,39	3'17,20	7,8	7,8	1,24	0,7101	8100,73
25	303	12,36	0,40	3'56,79	7,8	7,8	1,09	0,7101	8100,73
Prom=					7.72	7,72	1,53	0,7101	8025,20

$$h_{prom} = 154,11 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]; Nu_{prom} = 91,91$$

(10%)

$T_A = \frac{T_{an} + T_{eq}}{2} = 12,64^\circ C$					RESULTADOS				
T	Temp	$T - T_A$	H_1	T	$V_1 (m/s)$	$V (m/s)$			
$^\circ C$	$^\circ K$		in Wc	(seg)	v. an	V. max.	Log10 ($T - T_A$)	Pr	Re
75	353	62,36	0,22	0	4,0	4,0	1,79	0,7101	4154,22
70	348	57,36	0,23	33,16	4,1	4,1	1,75	0,7101	4258,08
65	343	52,36	0,23	59,24	4,1	4,1	1,71	0,7101	4258,08
60	338	47,36	0,22	1'17,15	4,1	4,1	1,67	0,7101	4258,08
55	333	42,36	0,22	1'40,78	4,1	4,1	1,63	0,7101	4258,08
50	328	37,36	0,22	2'00,07	4,1	4,1	1,57	0,7101	4258,08
45	323	32,36	0,22	2'30,50	4,1	4,1	1,51	0,7101	4258,08

40	318	27,36	0,23	3'09,39	4,1	4,1	1,44	0,7101	4258,08
35	313	22,36	0,22	3'35,18	4,1	4,1	1,35	0,7101	4258,08
30	308	17,36	0,22	4'30,24	4,1	4,1	1,24	0,7101	4258,08
25	303	12,36	0,22	5'24,00	4,1	4,1	1,09	0,7101	4258,08
Prom=					4,09	4,09	1,53	0,7101	4248,64

$$h_{prom} = 112.13 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]; Nu_{prom} = 66,87$$

Segunda Posición: (100%).

$T_A = \frac{T_{an} + T_{eq}}{2} = 12,64^\circ C$					RESULTADOS				
T	Temp	$T - T_A$	H_1	T	$V_1 (m/s)$	$V (m/s)$			
$^\circ C$	$^\circ K$		in Wc	(seg)	v. an	V. max.	Log10 ($T - T_A$)	Pr	Re
75	353	62,36	0,51	0	9,5	38	1,79	0,7101	39465,12
70	348	57,36	0,50	24,22	9,4	37,6	1,75	0,7101	39049,69
65	343	52,36	0,50	33,51	9,4	37,6	1,71	0,7101	39049,69
60	338	47,36	0,51	44,42	9,5	38	1,67	0,7101	39465,12
55	333	42,36	0,51	52,13	9,5	38	1,63	0,7101	39465,12
50	328	37,36	0,51	1'07,37	9,5	38	1,57	0,7101	39465,12
45	323	32,36	0,51	1'23,97	9,4	37,6	1,51	0,7101	39049,69
40	318	27,36	0,51	1'34,66	9,5	38	1,44	0,7101	39465,12
35	313	22,36	0,50	1'59,27	9,5	38	1,35	0,7101	39465,12
30	308	17,36	0,51	2'21,32	9,5	38	1,24	0,7101	39465,12
25	303	12,36	0,51	2'56,74	9,5	38	1,09	0,7101	39465,12
Prom=					9,47	37,89	1,53	0,7101	39351,82

$$h_{prom} = 341.26 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]; Nu_{prom} = 203,53$$

(50%)

$T_A = \frac{T_{an} + T_{eq}}{2} = 12,64^\circ\text{C}$					RESULTADOS				
T	Temp	$T - T_A$	H_1	T	V_1 (m/s)	V (m/s)			
$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{K}$		in Wc	(seg)	v. an	V. max.	Log10 ($T - T_A$)	Pr	Re
75	353	62,36	0,37	0	7,8	31,2	1,79	0,7101	32402,94
70	348	57,36	0,38	27,74	7,8	31,2	1,75	0,7101	32402,94
65	343	52,36	0,38	34,71	7,8	31,2	1,71	0,7101	32402,94
60	338	47,36	0,39	45,67	7,8	31,2	1,67	0,7101	32402,94
55	333	42,36	0,39	53,16	7,9	31,6	1,63	0,7101	32818,36
50	328	37,36	0,39	1'08,88	7,9	31,6	1,57	0,7101	32818,36
45	323	32,36	0,38	1'24,66	7,8	31,2	1,51	0,7101	32402,94
40	318	27,36	0,39	1'46,44	7,9	31,6	1,44	0,7101	32818,36
35	313	22,36	0,39	2'05,84	7,9	31,6	1,35	0,7101	32818,36
30	308	17,36	0,39	2'29,64	7,91	31,64	1,24	0,7101	32859,9
25	303	12,36	0,39	3'04,85	7,91	31,64	1,09	0,7101	32859,9
Prom=					7.85	31.42	1,53	0,7101	32637,08

$$h_{prom} = 310.79 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]; Nu_{prom} = 185,35$$

(10%)

$T_A = \frac{T_{an} + T_{eq}}{2} = 12,64^\circ\text{C}$					RESULTADOS				
T	Temp	$T - T_A$	H_1	T	V_1 (m/s)	V (m/s)			
$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{K}$		in Wc	(seg)	v. an	V. max.	Log10 ($T - T_A$)	Pr	Re
75	353	62,36	0,20	0	4,2	16,8	1,79	0,7101	17447,74
70	348	57,36	0,21	29,10	4,1	16,4	1,75	0,7101	17032,31

65	343	52,36	0,20	39,81	4,1	16,4	1,71	0,7101	17032,31
60	338	47,36	0,21	59,45	4,1	16,4	1,67	0,7101	17032,31
55	333	42,36	0,21	1'19,23	4,1	16,4	1,63	0,7101	17032,31
50	328	37,36	0,21	1'34,90	4,2	16,8	1,57	0,7101	17447,74
45	323	32,36	0,21	1'58,84	4,2	16,8	1,51	0,7101	17447,74
40	318	27,36	0,21	2'24,32	4,2	16,8	1,44	0,7101	17447,74
35	313	22,36	0,21	2'59,97	4,2	16,8	1,35	0,7101	17447,74
30	308	17,36	0,21	3'26,24	4,2	16,8	1,24	0,7101	17447,74
25	303	12,36	0,21	3'59,57	4,2	16,8	1,09	0,7101	17447,74
Prom=					4.16	16,65	1,53	0,7101	17296,67

$$h_{prom} = 226.25 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]; Nu_{prom} = 134,93$$

Tercera posición: (100%).

$T_A = \frac{T_{an} + T_{eq}}{2} = 12,64^\circ C$					RESULTADOS				
T	Temp	$T - T_A$	H_1	T	$V_1 (m/s)$	$V (m/s)$			
$^\circ C$	$^\circ K$		in Wc	(seg)	v. an	V. max.	Log10 ($T - T_A$)	Pr	Re
75	353	62,36	0,50	0	9,4	37,6	1,79	0,7101	39049,69
70	348	57,36	0,51	21,09	9,3	37,2	1,75	0,7101	38634,27
65	343	52,36	0,51	31,77	9,3	37,2	1,71	0,7101	38634,27
60	338	47,36	0,52	42,03	9,4	37,6	1,67	0,7101	39049,69
55	333	42,36	0,51	53,18	9,4	37,6	1,63	0,7101	39049,69
50	328	37,36	0,51	1'02,91	9,4	37,6	1,57	0,7101	39049,69
45	323	32,36	0,51	1'22,03	9,4	37,6	1,51	0,7101	39049,69
40	318	27,36	0,51	1'33,78	9,4	37,6	1,44	0,7101	39049,69

35	313	22,36	0,51	2'01,61	9,3	37,2	1,35	0,7101	38634,27
30	308	17,36	0,51	2'17,23	9,4	37,6	1,24	0,7101	39049,69
25	303	12,36	0,51	2'56,58	9,4	37,6	1,09	0,7101	39049,69
Prom=					9,37	37,49	1,53	0,7101	38936,39

$$h_{prom} = 339,46 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]; Nu_{prom} = 202,45$$

(50%)

$T_A = \frac{T_{an} + T_{eq}}{2} = 12,64^\circ C$					RESULTADOS				
					$V_1 (m/s)$	$V (m/s)$			
T °C	Temp °K	$T - T_A$	H_1 in Wc	T (seg)	v. an	V. max.	Log10 ($T - T_A$)	Pr	Re
75	353	62,36	0,38	0	7,7	30,8	1,79	0,7101	31987,51
70	348	57,36	0,39	23,33	7,6	30,4	1,75	0,7101	31572,09
65	343	52,36	0,39	32,48	7,7	30,8	1,71	0,7101	31987,51
60	338	47,36	0,39	44,69	7,7	30,8	1,67	0,7101	31987,51
55	333	42,36	0,39	52,12	7,6	30,4	1,63	0,7101	31572,09
50	328	37,36	0,40	1'08,77	7,7	30,8	1,57	0,7101	31987,51
45	323	32,36	0,40	1'29,34	7,7	30,8	1,51	0,7101	31987,51
40	318	27,36	0,40	1'52,27	7,7	30,8	1,44	0,7101	31987,51
35	313	22,36	0,40	2'09,29	7,7	30,8	1,35	0,7101	31987,51
30	308	17,36	0,40	2'42,22	7,7	30,8	1,24	0,7101	31987,51
25	303	12,36	0,40	3'16,12	7,7	30,8	1,09	0,7101	31987,51
Prom=					7,68	30,72	1,53	0,7101	31911,97

$$h_{prom} = 307,31 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]; Nu_{prom} = 183,28$$

(10%)

$T_A = \frac{T_{an} + T_{eq}}{2} = 12,64^\circ\text{C}$					RESULTADOS				
T	Temp	$T - T_A$	H_1	T	V_1 (m/s)	V (m/s)			
°C	°K		in Wc	(seg)	v. an	V. max.	Log10 ($T - T_A$)	Pr	Re
75	353	62,36	0,17	0	4,3	17,2	1,79	0,7101	17863,16
70	348	57,36	0,17	23,94	4,3	17,2	1,75	0,7101	17863,16
65	343	52,36	0,15	41,37	4,3	17,2	1,71	0,7101	17863,16
60	338	47,36	0,17	53,27	4,4	17,6	1,67	0,7101	18278,58
55	333	42,36	0,17	1'09,68	4,4	17,6	1,63	0,7101	18278,58
50	328	37,36	0,15	1'26,96	4,3	17,2	1,57	0,7101	17863,16
45	323	32,36	0,17	1'43,91	4,4	17,6	1,51	0,7101	18278,58
40	318	27,36	0,17	2'10,71	4,4	17,6	1,44	0,7101	18278,58
35	313	22,36	0,17	2'27,78	4,45	17,8	1,35	0,7101	18486,29
30	308	17,36	0,15	3'08,32	4,45	17,8	1,24	0,7101	18486,29
25	303	12,36	0,17	3'37,53	4,45	17,8	1,09	0,7101	18486,29
Prom=					4,37	17,51	1,53	0,7101	18184,17

$$h_{prom} = 231,98 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]; Nu_{prom} = 138,35$$

Cuarta posición: (100%).

$T_A = \frac{T_{an} + T_{eq}}{2} = 12,64^\circ\text{C}$					RESULTADOS				
T	Temp	$T - T_A$	H_1	T	V_1 (m/s)	V (m/s)			
°C	°K		in Wc	(seg)	v. an	V. max.	Log10 ($T - T_A$)	Pr	Re
75	353	62,36	0,47	0	9,4	37,6	1,79	0,7101	39049,69
70	348	57,36	0,50	17,82	9,4	37,6	1,75	0,7101	39049,69

65	343	52,36	0,49	27,81	9,4	37,6	1,71	0,7101	39049,69
60	338	47,36	0,50	39,28	9,5	38	1,67	0,7101	39465,12
55	333	42,36	0,49	46,61	9,5	38	1,63	0,7101	39465,12
50	328	37,36	0,49	58,13	9,5	38	1,57	0,7101	39465,12
45	323	32,36	0,49	1'15,04	9,6	38,4	1,51	0,7101	39880,54
40	318	27,36	0,50	1'25,89	9,6	38,4	1,44	0,7101	39880,54
35	313	22,36	0,47	1'46,31	9,6	38,4	1,35	0,7101	39880,54
30	308	17,36	0,49	2'05,93	9,6	38,4	1,24	0,7101	39880,54
25	303	12,36	0,50	2'37,50	9,6	38,4	1,09	0,7101	39880,54
Prom=					9,52	38,07	1,53	0,7101	39540,65

$$h_{prom} = 342,08 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]; Nu_{prom} = 204,01$$

(50%)

$T_A = \frac{T_{an} + T_{eq}}{2} = 12,64^\circ C$					RESULTADOS				
T	Temp	$T - T_A$	H_1	T	$V_1 (m/s)$	$V (m/s)$			
$^\circ C$	$^\circ K$		in Wc	(seg)	v. an	V. max.	Log10 ($T - T_A$)	Pr	Re
75	353	62,36	0,37	0	7,5	30	1,79	0,7101	31156,67
70	348	57,36	0,39	19,97	7,5	30	1,75	0,7101	31156,67
65	343	52,36	0,38	31,70	7,4	29,6	1,71	0,7101	30741,25
60	338	47,36	0,39	40,80	7,4	29,6	1,67	0,7101	30741,25
55	333	42,36	0,39	53,96	7,5	30	1,63	0,7101	31156,67
50	328	37,36	0,39	1'04,89	7,5	30	1,57	0,7101	31156,67
45	323	32,36	0,39	1'22,31	7,5	30	1,51	0,7101	31156,67
40	318	27,36	0,39	1'39,71	7,5	30	1,44	0,7101	31156,67

35	313	22,36	0,39	1'59,43	7,5	30	1,35	0,7101	31156,67
30	308	17,36	0,39	2'25,07	7,5	30	1,24	0,7101	31156,67
25	303	12,36	0,39	2'50,05	7,5	30	1,09	0,7101	31156,67
Prom=					7,48	29,93	1,53	0,7101	31081,14

$$h_{prom} = 303,29 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]; Nu_{prom} = 180,88$$

(10%)

$T_A = \frac{T_{an} + T_{eq}}{2} = 12,64^\circ C$					RESULTADOS				
T $^\circ C$	Temp $^\circ K$	$T - T_A$	H_1 in Wc	T (seg)	V_1 (m/s) v. an	V (m/s) V. max.	Log10 ($T - T_A$)	Pr	Re
75	353	62,36	0,20	0	4,1	16,4	1,79	0,7101	17032,31
70	348	57,36	0,20	21,19	4,1	16,4	1,75	0,7101	17032,31
65	343	52,36	0,19	36,01	4,1	16,4	1,71	0,7101	17032,31
60	338	47,36	0,20	48,83	4,0	16	1,67	0,7101	16616,89
55	333	42,36	0,20	1'01,01	4,0	16	1,63	0,7101	16616,89
50	328	37,36	0,20	1'17,18	4,1	16,4	1,57	0,7101	17032,31
45	323	32,36	0,20	1'37,19	4,1	16,4	1,51	0,7101	17032,31
40	318	27,36	0,20	1'58,38	4,1	16,4	1,44	0,7101	17032,31
35	313	22,36	0,20	2'17,46	4,1	16,4	1,35	0,7101	17032,31
30	308	17,36	0,19	2'54,95	4,1	16,4	1,24	0,7101	17032,31
25	303	12,36	0,20	3'23,13	4,1	16,4	1,09	0,7101	17032,31
Prom=					4,08	16,33	1,53	0,7101	16956,78

$$h_{prom} = 224,01 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]; Nu_{prom} = 133,60$$

Quinta Posición: (100%).

$T_A = \frac{T_{an} + T_{eq}}{2} = 12,64^\circ\text{C}$					RESULTADOS				
T	Temp	$T - T_A$	H_1	T	V_1 (m/s)	V (m/s)			
°C	°K		in Wc	(seg)	v. an	V. max.	Log10 ($T - T_A$)	Pr	Re
75	353	62,36	0,50	0	9,4	37,6	1,79	0,7101	39049,69
70	348	57,36	0,49	20,06	9,4	37,6	1,75	0,7101	39049,69
65	343	52,36	0,50	29,87	9,4	37,6	1,71	0,7101	39049,69
60	338	47,36	0,50	44,27	9,4	37,6	1,67	0,7101	39049,69
55	333	42,36	0,50	57,02	9,4	37,6	1,63	0,7101	39049,69
50	328	37,36	0,50	1'08,42	9,3	37,2	1,57	0,7101	38634,27
45	323	32,36	0,50	1'20,64	9,4	37,6	1,51	0,7101	39049,69
40	318	27,36	0,50	1'37,95	9,4	37,6	1,44	0,7101	39049,69
35	313	22,36	0,50	1'55,99	9,4	37,6	1,35	0,7101	39049,69
30	308	17,36	0,50	2'26,09	9,4	37,6	1,24	0,7101	39049,69
25	303	12,36	0,50	2'36,08	9,3	37,2	1,09	0,7101	38634,27
Prom=					9,38	37,53	1,53	0,7101	38974,16

$$h_{prom} = 339,62 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]; Nu_{prom} = 202,54$$

(50%)

$T_A = \frac{T_{an} + T_{eq}}{2} = 12,64^\circ\text{C}$					RESULTADOS				
T	Temp	$T - T_A$	H_1	T	V_1 (m/s)	V (m/s)			
°C	°K		in Wc	(seg)	v. an	V. max.	Log10 ($T - T_A$)	Pr	Re
75	353	62,36	0,38	0	7,7	30,8	1,79	0,7101	31987,52
70	348	57,36	0,41	30,10	7,6	30,4	1,75	0,7101	31572,09

65	343	52,36	0,39	30,87	7,6	30,4	1,71	0,7101	31572,09
60	338	47,36	0,41	39,58	7,7	30,8	1,67	0,7101	31987,52
55	333	42,36	0,41	51,31	7,7	30,8	1,63	0,7101	31987,52
50	328	37,36	0,41	1'04,26	7,7	30,8	1,57	0,7101	31987,52
45	323	32,36	0,39	1'23,18	7,6	30,4	1,51	0,7101	31572,09
40	318	27,36	0,39	1'41,68	7,7	30,8	1,44	0,7101	31987,52
35	313	22,36	0,39	1'58,11	7,6	30,4	1,35	0,7101	31572,09
30	308	17,36	0,39	2'26,84	7,7	30,8	1,24	0,7101	31987,52
25	303	12,36	0,39	2,48,19	7,7	30,8	1,09	0,7101	31987,52
Prom=					7,66	30,65	1,53	0,7101	31836,45

$$h_{prom} = 306,95 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]; Nu_{prom} = 183,06$$

(10%)

$T_A = \frac{T_{an} + T_{eq}}{2} = 12,64^\circ C$					RESULTADOS				
T	Temp	$T - T_A$	H_1	T	$V_1 (m/s)$	$V (m/s)$			
$^\circ C$	$^\circ K$		in Wc	(seg)	v. an	V. max.	Log10 ($T - T_A$)	Pr	Re
75	353	62,36	0,20	0	4,1	16,4	1,79	0,7101	17032,31
70	348	57,36	0,21	21,13	4,0	16	1,75	0,7101	16616,89
65	343	52,36	0,21	28,26	4,1	16,4	1,71	0,7101	17032,31
60	338	47,36	0,21	40,02	4,1	16,4	1,67	0,7101	17032,31
55	333	42,36	0,21	50,20	4,1	16,4	1,63	0,7101	17032,31
50	328	37,36	0,21	1'01,00	4,1	16,4	1,57	0,7101	17032,31
45	323	32,36	0,21	1'13,14	4,1	16,4	1,51	0,7101	17032,31
40	318	27,36	0,21	1'33,14	4,1	16,4	1,44	0,7101	17032,31

35	313	22,36	0,21	1,51,16	4,0	16	1,35	0,7101	16616,89
30	308	17,36	0,21	2'15,67	4,0	16	1,24	0,7101	16616,89
25	303	12,36	0,21	2,40,03	4,0	16	1,09	0,7101	16616,89
Prom=					4,06	16,25	1,53	0,7101	16881,25

$$h_{prom} = 223,51 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right] ; Nu_{prom} = 133,30$$

Primera posición					
%	H_1	V_{max}	h	Nu	Re
100	0,52	9,464	170,55	101,71	9828,52
50	0,41	7,72	154,11	91,91	8025,20
10	0,52	4,09	112,13	66,87	4248,64

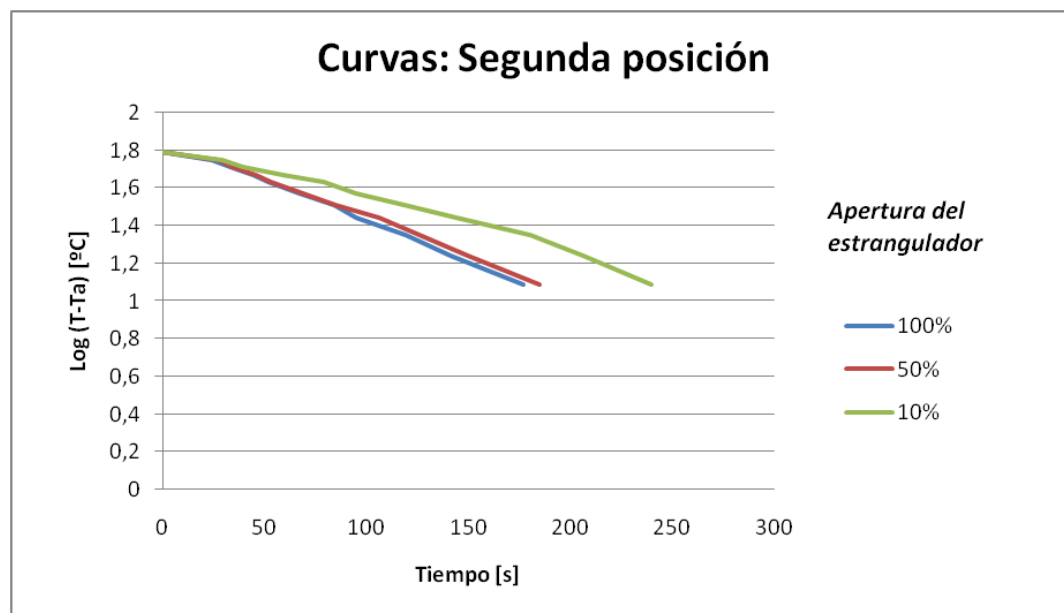
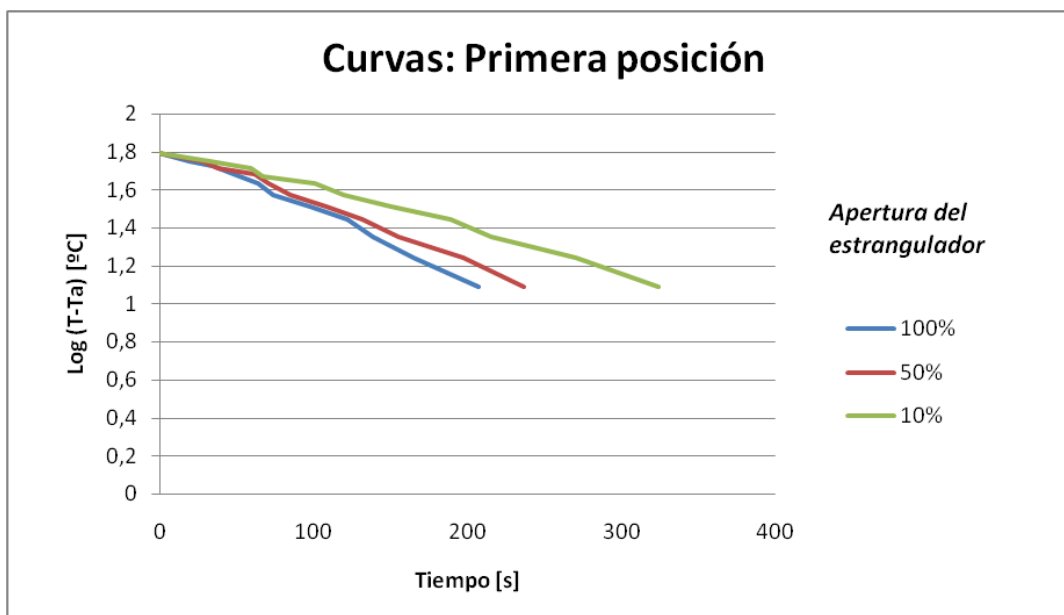
Segunda posición					
%	H_1	V_{max}	h	Nu	Re
100	0,51	37,89	341,26	203,53	38936,39
50	0,39	31,2	310,79	185,35	32637,08
10	0,21	16,8	226,25	134,93	17296,67

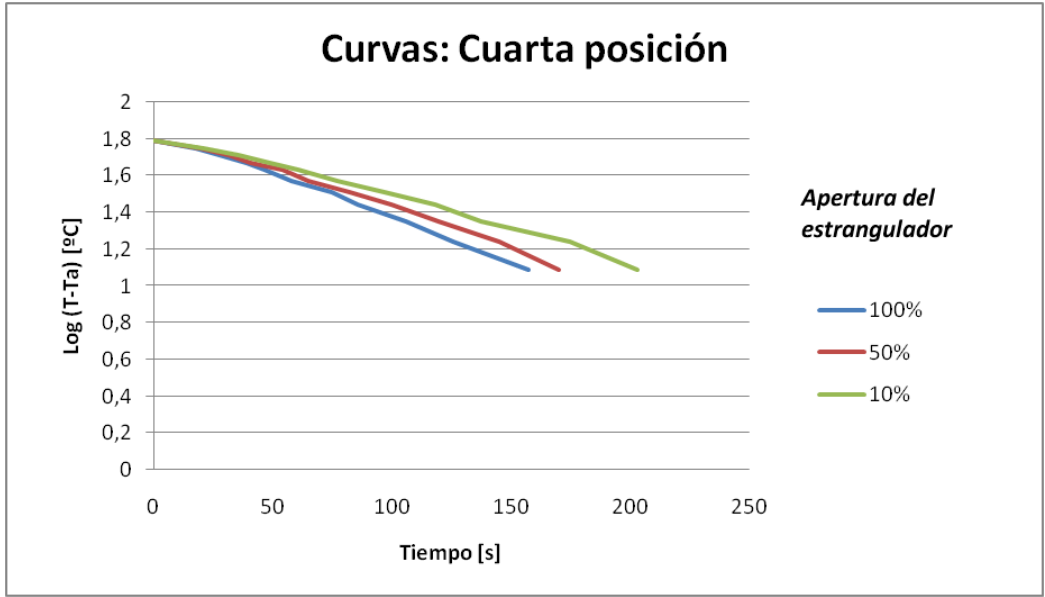
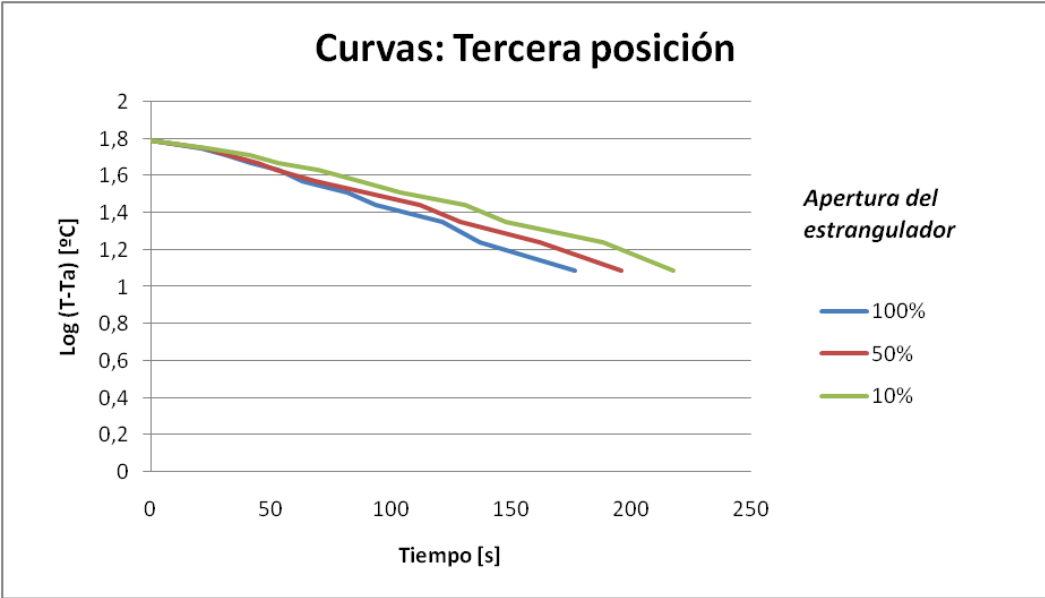
Tercera posición					
%	H_1	V_{max}	h	Nu	Re
100	0,51	37,49	339,46	202,45	38936,39
50	0,40	30,72	307,31	183,28	31911,97
10	0,17	17,51	231,98	138,35	18184,17

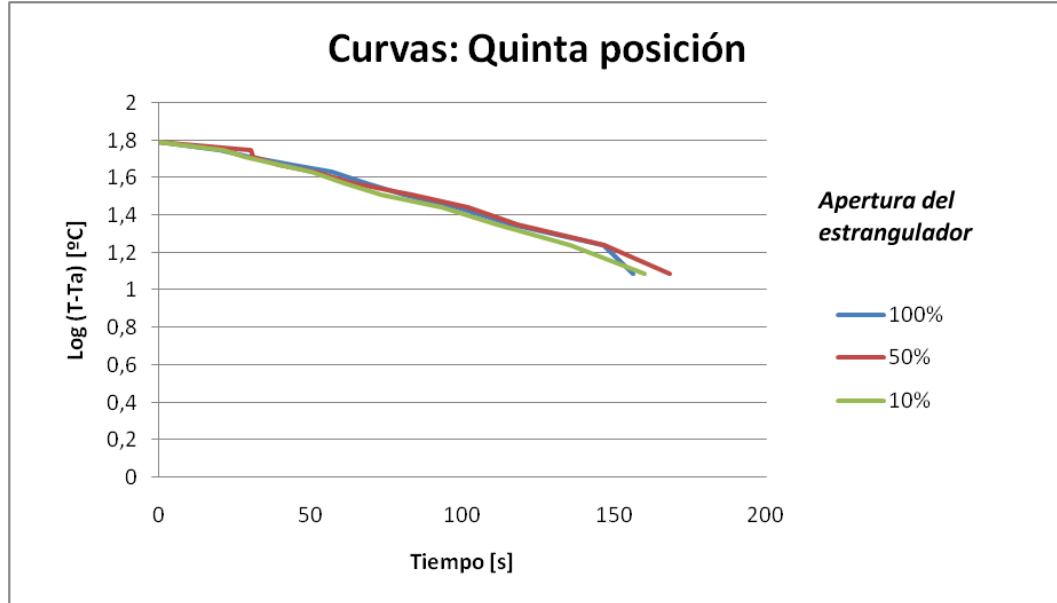
Cuarta posición					
%	H_1	V_{max}	h	Nu	Re
100	0,50	38,07	342,08	204,01	39540,65
50	0,39	29,93	303,29	180,88	31081,14
10	0,20	16,33	224,01	133,60	16956,78

Quinta posición					
%	H_1	V_{max}	h	Nu	Re
100	0,50	37,53	339,62	202,54	38974,16
50	0,41	30,65	306,95	183,06	31836,45
10	0,21	16,25	223,51	133,30	16881,25

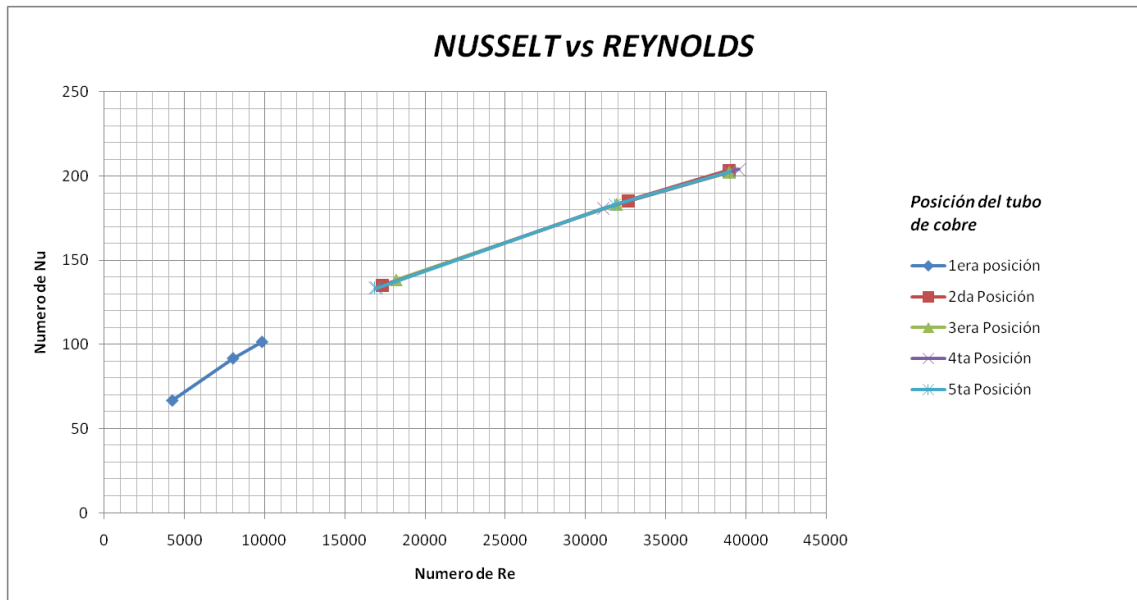
6.1.1.2.- Graficas Tiempo vs $\text{Log}_{10}(T-T_A)$







6.1.1.3.- Gráfica Nusselt vs Reynolds



6.2.- INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Para el funcionamiento, encendido y prácticas a realizarse en el banco de pruebas primero realizamos una inspección visual de todo el conjunto, verificamos que no se encuentre ningún objeto ajeno dentro del túnel, nos cercioramos que todos los elementos se encuentren en correcto estado, es decir el medidor de presión, el display indicador, el indicador de temperatura todos fijos y sujetos en su posición, observamos que todos los componentes del banco de pruebas se encuentren conectados, como el cable de motor que sirve de igual forma para el funcionamiento del calentador, el cable del caudalímetro de presión y su fuente variable.

Antes de encender o comenzar con la operación del banco de pruebas, asegurarse que no se encuentre dentro de la mesa algún objeto que este en contacto o interfiera con la banda y su libre movimiento, también percatarse que el estrangulador no esté completamente cerrado, ya que esto puede generar una sobrepresión de aire ocasionando daños en el banco de pruebas.

6.1.1.- DISTRIBUCIÓN DE LOS TUBOS DE NYLON EN LA ZONA DE PRUEBAS

Los 21 tubos de nylon se van a introducir de manera ordenada de arriba hacia abajo, como indica la figura 6.2, ya que tienen una numeración específica en cada tubo.

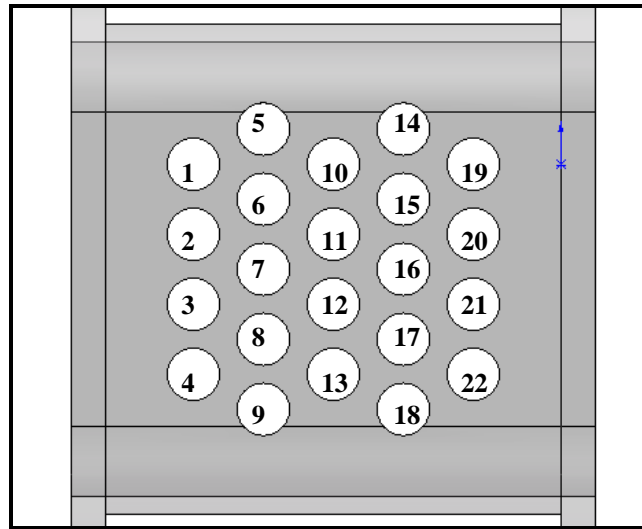


Figura 6.2.- Distribución de tubos

6.1.2.- ENCENDIDO DE LOS EQUIPOS ELECTRÓNICOS Y ELÉCTRICOS

6.1.2.1.- Encendido del circuito de temperaturas

Para el encendido del circuito se acciona el switch (figura 6.3) y visualizamos los valores temperatura como nos indica la figura 6.4.

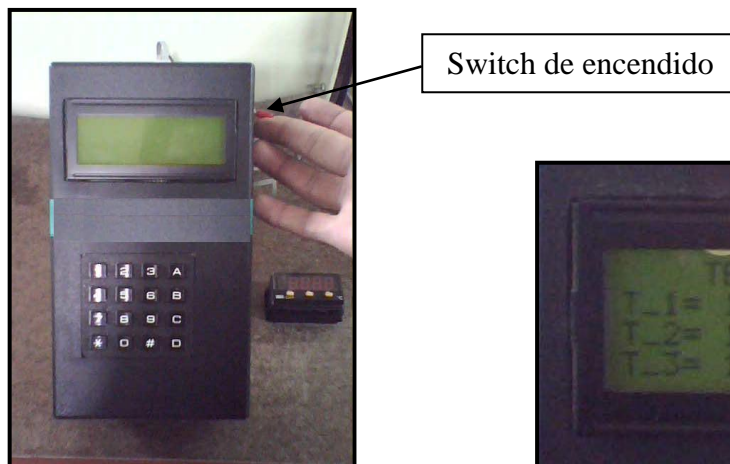


Figura 6.3.- Encendido del indicador



Figura 6.4.- Indicador de temperaturas

El display nos indica tres valores de temperatura en grados centígrados:

(T_1) temperatura de eje de cobre

(T_2) temperatura antes de zona de pruebas

(T_3) temperatura después de la zona de pruebas

6.1.2.2.- Encendido del controlador de presión

El encendido del caudalímetro de presión se lo realiza mediante un switch el cual va junto al controlador universal (figura 6.5), muestra los valores de presión en pulgadas de agua (figura 6.6), con un rango entre los 0 y 3 (inH2O).



Figura 6.5.- Encendido del controlador



Figura 6.6.- Valor de presión (inH2O)

6.1.2.3.- Encendido del calentador e introducción del eje de cobre

El encendido del calentador consta de un switch como indica la figura 6.7, introducimos el eje de cobre al calentador (figura 6.8), dejamos al eje hasta alcanzar la temperatura de 75°C, apagamos el calentador y retiramos inmediatamente para luego colocar en la zona de pruebas, no calentar mas de 85°C ya que en el interior del eje se encuentra un sensor de temperatura y su rango de funcionamiento es entre 0 y 90°C, por lo cual podemos quemar al sensor.



Figura 6.7.- Encendido calentador



Figura 6.8.- Introducción del eje

6.1.2.4.- Encendido del Motor eléctrico

Para el encendido del motor, procedemos de igual forma a accionar un switch que está instalado en la parte lateral de la mesa figura 6.9.



Figura 6.9.- Encendido motor eléctrico

CONCLUSIONES:

Mediante el análisis de los resultados obtenidos en el proyecto y estudio se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se consiguió diseñar y construir un banco de pruebas de intercambiador de calor de flujo cruzado.
- El banco de pruebas cumple con los parámetros de diseño y simulación para los cuales fue construido, facilitando la comprensión y entendimiento del fenómeno de transferencia de calor por convección entre un tubo de cobre y aire forzado.
- Se logró diseñar y construir un arreglo conveniente de 21 tubos de nylon y un tubo de cobre de forma satisfactoria que permiten simular el paso y movimiento del aire dentro de un arreglo escalonado.
- Se seleccionó los elementos eléctricos y electrónicos, idóneos para el desarrollo del proyecto, el PIC 16F877A y el sensor LM35 se usaron por sus capacidades: memoria de programación, precio y facilidad de uso. Todo esto en función de los requerimientos necesarios, conforme el diseño realizado.
- Las piezas modeladas fueron exitosamente diseñadas, evidenciado en las simulaciones computacionales realizadas.
- Otro comportamiento encontrado dentro de las pruebas realizadas, muestra que la cantidad de aire que ingresa al banco de pruebas (caudal másico), también determina la velocidad de intercambio de calor. Con un menor paso de aire (apertura mínima del estrangulador) el tiempo de intercambio de calor

se amplía con respecto a una mayor ingreso de aire (apertura máxima del estrangulador).

- El banco construido se convierte en una valiosa herramienta didáctica en la comprensión y aprendizaje en el campo de la termodinámica y la transferencia de calor, que permitirá al estudiante realizar las mediciones previas de: temperatura del aire, temperatura del tubo de cobre, presión y velocidad del aire, para determinar el valor de coeficiente de transferencia de calor.

RECOMENDACIONES:

- Se recomienda que para el momento de realizar la practica en el banco de pruebas, comprobemos que el estrangulador no este completamente cerrado, ya que se puede crear una sobrepresión dentro del túnel, de igual manera tener cuidado con el eje al momento de calentar y alcanzar la temperatura deseada, apagar y retirar de inmediato, porque a temperaturas superiores a 90°C se puede quemar y dejar de funcionar el sensor.
- Revisar siempre dentro de la mesa del banco de pruebas, que no se encuentren objetos que estén en contacto con la banda o impidan su movimiento y funcionamiento.
- El sensor es un elemento sensible a los golpes, tener mucho cuidado al manipular el eje de cobre al momento de dirigir a la zona de pruebas, ya que alguna caída o golpe fuerte puede dañar de forma definitiva al sensor de temperatura.
- El microcontrolador utilizado es un elemento sensible por lo que se recomienda aislarlo de condiciones ambientales desfavorables, como temperaturas altas, aceites y también es importante aislar al circuito completo en un alojamiento metálico conectado a tierra.
- Tener cuidado al manipular, las mangueras que van conectadas al caudalimetro o tubo de pitot, y verificar que las llaves del tubo de pitot estén completamente abiertas para que nos de una lectura correcta de presión.

BIBLIOGRAFÍA

- DESMOND RANDALL MARK, Transferencia de calor, 2^{da} Edición
- DE WITT DAVID, Fundamentos de Transferencia de Calor, 4^{ta} Edición
- JOSÉ ANGULO, Microcontroladores PIC 2^{da} Parte, 2^{da} Edición, McGraw Hill, España, 2006.
- RAÚL PERALTA MEZA, Curso básico de PIC16F877, Ecuador, 2000
- MOTT ROBERT, Mecánica de Fluidos, 6^{ta} Edición,
- GREENE RICHARD W., Compresores Selección, Uso y Mantenimiento
- MOTT ROBERT, Diseño de Elementos de maquinas, 4^{ta} edición

Internet.

- www.sarabastall.com
- www.microchip.com
- www.datasheetcatalog.org
- www.dwyer-inst.com
- www.brainchild.com.tw

Latacunga, 14 de julio del 2009

LOS AUTORES:

Luis Bolívar Andrade Freire

Cristian Daniel Espinosa Gonzalez

EL DIRECTOR DE CARRERA:

Ing. Juan Castro Clavijo

UNIDAD DE ADMISIÓN Y REGISTRO:

Dr. Eduardo Vásquez Alcazar