



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**CARRERA INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**TÍTULO: “IMPLEMENTACIÓN DE MÓDULOS DIDÁCTICOS PARA DETERMINAR PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS Y CURVAS CARACTERÍSTICAS DE BOMBAS DE TORBELLINO PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN LA ASIGNATURA MECÁNICA DE FLUIDOS.”**

**Autor:**

César Augusto Guilcamaigua Guamushig

**Tutor:**

Dr. C. Héctor Luis Laurencio Alfonso

Latacunga – Ecuador

2018



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo César Augusto Guilcamaigua Guamushig, declaro ser autor del presente proyecto de investigación: “IMPLEMENTACIÓN DE MÓDULOS DIDÁCTICOS PARA DETERMINAR PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS Y CURVAS CARACTERÍSTICAS DE BOMBAS DE TORBELLINO PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN LA ASIGNATURA MECÁNICA DE FLUIDOS”, siendo el Dr. C. Héctor Luis Laurencio Alfonso tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

César Augusto Guilcamaigua Guamushig

C.I. 050395860-5



## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“IMPLEMENTACIÓN DE MÓDULOS DIDÁCTICOS PARA DETERMINAR PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS Y CURVAS CARACTERÍSTICAS DE BOMBAS DE TORBELLINO PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN LA ASIGNATURA MECÁNICA DE FLUIDOS” de César Augusto Guilcamaigua Guamushig de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, julio 2018

Dr. C. Héctor Luis Laurencio Alfonso

C.C.: I712813



## AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, el postulante: César Augusto Guilcamaigua Guamushig con C.I. 050395860-5 con el título de Proyecto de titulación:

“IMPLEMENTACIÓN DE MÓDULOS DIDÁCTICOS PARA DETERMINAR PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS Y CURVAS CARACTERÍSTICAS DE BOMBAS DE TORBELLINO PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN LA ASIGNATURA MECÁNICA DE FLUIDOS” han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Julio 2018

Para constancia firman:

Ing. Enrique Torres Tamayo; Ph.D.

CC: 175712194-0

Ing. Byron Paúl Corrales Bastidas

CC: 050234776-8

Ing. Jorge Enrique Cañar Tercero

CC: 050260822-7



## AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

Latacunga, Julio 2018

Ing. Mauro Albarracín; Mgs.

DIRECTOR DE LA CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA

Presente.-

En calidad de Docente de la Universidad Técnica De Cotopaxi, confirmo la realización del proyecto como material didáctico "Implementación de módulos didácticos para determinar pérdidas de carga en tuberías y curvas características de bombas de torbellino para el desarrollo de prácticas de laboratorio en la asignatura Mecánica de Fluidos". Implementado por el señor estudiante de la Universidad Técnica de Cotopaxi, carrera de Ingeniería Electromecánica; César Augusto Guilcamaigua Guamushig con C.I. 050395860-5.

Es cuanto puedo certificar en honor a la verdad, se expide el presente para el interesado pueda hacer uso para los fines que crea conveniente.

Ing. Enrique Torres Tamayo; Ph.D.

## **DEDICATORIA**

Este presente trabajo está dedicado en primer lugar a Dios por la oportunidad de estar presente día a día en esta sociedad y luego a todas las personas que me han apoyado para la realización del presente proyecto en especial a mi hija Celene Gissel, a mis padres y hermanos quienes han realizado un gran sacrificio y brindarme la oportunidad de educarme.

*Cesar A.*

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar quiero agradecer a mis padres, que me han apoyado para llegar a estas instancias de mi vida. De igual manera agradezco a mis hermanos, pilares fundamentales para mi formación como persona y como profesional.

*Cesar A.*

## ÍNDICE

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN .....	iii
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....	iv
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT .....	xvi
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xvii
1. INFORMACIÓN GENERAL .....	1
2. DESCRIPCIÓN .....	2
3. JUSTIFICACIÓN.....	2
4. BENEFICIARIOS .....	3
5. EL PROBLEMA .....	4
6. OBJETIVOS.....	4
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	5
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	6
Estudios de precedentes.....	6
Marco de referencia de la investigación.....	8
Flujo de fluidos.....	8

Flujo de fluido viscoso .....	8
Propiedades de los líquidos .....	9
Densidad.....	9
Principios del flujo de fluidos.....	10
Flujo laminar .....	10
Flujo turbulento .....	10
Clasificación reológica de los fluidos.....	10
Fluidos newtonianos.....	11
Fluidos no newtonianos.....	11
Máquinas de flujo. ....	11
Bomba de engrane.....	11
Bombas de torbellino .....	12
Métodos e instrumentos de medición de mecánica de los fluidos.....	13
Métodos de medición de caudal .....	13
Medición de presión .....	13
Manómetros.....	13
Dispositivo para la medición de flujo. ....	14
Caudalímetro .....	14
La Automatización y control. ....	15
Definición de control automático.....	15
Componentes para automatizar diferentes sistemas.....	15
Microcontrolador arduino .....	15
Programación .....	15
9.    HIPÓTESIS .....	16
10.   METODOLOGÍAS .....	16

Procedimientos para la realización de prácticas .....	16
Determinación de coeficientes de pérdidas locales .....	16
Objetivos .....	16
Resumen .....	16
Descripción de la práctica .....	18
Obtención experimental del gradiente de presión y factor de fricción en tuberías .....	18
Objetivos .....	19
Resumen .....	19
Descripción de la práctica .....	19
Experimentación con bombas de torbellino funcionamiento en serie y paralelo .....	20
Objetivos .....	20
Descripción de la práctica .....	20
Materiales para la construcción de los módulos didácticos .....	21
Tubos cuadrados.....	21
Tubos ISO galvanizado .....	22
Tubería PVC (Poli cloruro de vinilo).....	22
Electrodos 6011 .....	22
Discos de corte y desbaste.....	23
Thinner .....	23
Procedimientos para la fabricación de los módulos didácticos .....	23
Selección del electrodo adecuado .....	23
Proceso para roscado de tubería .....	26
Proceso de pintura .....	26
Equipos de fabricación de los módulos didácticos.....	26
Terrajas.....	26

Soldadora eléctrica.....	27
Amoladora angular.....	27
Compresor de aire.....	27
Entenalla.....	27
Experimentación con bomba engrane y flujo aceite (Módulo 1).....	27
Características de la instalación.....	27
Selección de los elementos de protección para la bomba de engrane.....	28
Cálculo de la corriente a plena carga:.....	28
Experimentación con bombas de torbellino y flujo agua (Módulo 2).....	30
Selección de los elementos de protección para las bombas de torbellino (Módulo 2).....	30
Cálculo de la corriente a plena carga:.....	30
Pulsadores de marcha y paro.....	31
Paro de emergencia y luces indicadoras.....	32
Automatización.....	32
Selección del Arduino.....	32
Pantalla LCD.....	33
Sensor de flujo de agua 1" FS400A.....	33
Placa de baquelita.....	34
Implementación.....	34
Circuito de fuerza y mando de la bomba engrane (Módulo 1).....	34
Circuito de mando.....	34
Circuito de fuerza.....	34
Circuito de fuerza y mando de las bombas de torbellino (Módulo 2).....	35
Circuito de fuerza.....	35
Circuito de mando.....	35

Circuito electrónico interno.....	35
Desarrollo de la programación de arduino .....	35
Tablero de control .....	35
Módulo 1 .....	36
Módulo 2.....	36
11. DESARROLLO DE LA PROPUESTA, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	36
Análisis de aceite.....	37
Determinación de resultados .....	37
Datos prácticos de la bomba de engrane y fluido aceite .....	37
Resultados teóricos del comportamiento reológico del aceite .....	40
Datos prácticos de las bombas de torbellino y fluido agua .....	40
Datos obtenidos del módulo didáctico .....	40
12. IMPACTOS .....	41
Impacto económico.....	41
Impacto ambiental .....	42
13. PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN.....	42
14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	44
Conclusiones.....	44
Recomendaciones .....	44
15. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	46
16. ANEXOS.....	49

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Beneficiarios directos del proyecto. ....	3
<b>Tabla 2.</b> Beneficiarios indirectos del proyecto. ....	4
<b>Tabla 3.</b> Actividades por objetivo.....	5
<b>Tabla 4.</b> Valores de los coeficientes de resistencias locales.....	18
<b>Tabla 5.</b> Recopilación y tratamiento de datos.....	18
<b>Tabla 6.</b> Recopilación y tratamiento de datos.....	20
<b>Tabla 7.</b> Especificaciones técnicas tubos cuadrados.....	21
<b>Tabla 8.</b> Especificaciones técnicas tubos cuadrados.....	22
<b>Tabla 9.</b> Datos nominales de la bomba. ....	27
<b>Tabla 10.</b> Datos nominales del motor .....	27
<b>Tabla 11.</b> Características técnicas del guardamotor. ....	29
<b>Tabla 12.</b> Datos nominales de las bombas.....	30
<b>Tabla 13.</b> Propiedades del agua. ....	30
<b>Tabla 15.</b> Especificaciones técnicas del Arduino UNO. ....	32
<b>Tabla 15.</b> Especificaciones técnicas de la placa de baquelita.....	34
<b>Tabla 16.</b> Propiedades del aceite lubricante a utilizar en la pruebas experimentales.....	37
<b>Tabla 17.</b> Comportamiento de la caída de presión en las tuberías.....	37
<b>Tabla 18.</b> Costos de prácticas de acuerdo a 5 años.....	41
<b>Tabla 19.</b> Flujo de caja de las prácticas en 5 años.....	41
<b>Tabla 20.</b> Estimación de la tasa de retorno y el valor actual neto .....	42
<b>Tabla 21.</b> Identificación de los impactos ambientales asociados. ....	42
<b>Tabla 22.</b> Presupuesto general de módulos.....	43

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Bombas de engranes .....	12
<b>Figura 2.</b> Bomba de torbellino .....	12
<b>Figura 3.</b> Manómetro Ø53 conexión posterior.....	14
<b>Figura 4.</b> Caudalímetro para fluidos con arduino .....	14
<b>Figura 5.</b> Tamaños de soldadura ( $\theta$ en grados., H, R, S y T en mm) .....	24
<b>Figura 6</b> Terrajas de para roscar. ....	26
<b>Figura 7.</b> Interruptor termomagnético.....	28
<b>Figura 8</b> Guardamotor AEG regulable 11 – 16 A.....	29
<b>Figura 9.</b> Contactor siemens 220V .....	29
<b>Figura 10.</b> Contactor siemens 110 V .....	31
<b>Figura 11.</b> Interruptor termomagnético.....	31
<b>Figura 12.</b> Panel LCD. ....	33
<b>Figura 13.</b> Sensor de flujo de agua .....	33
<b>Figura 14.</b> Variación de presión.....	38
<b>Figura 15.</b> Variación del gradiente de velocidad. ....	39
<b>Figura 16.</b> Comportamiento del factor de fricción .....	39
<b>Figura 17.</b> Reograma del aceite. ....	40
<b>Figura 18.</b> Conexión serie - paralelo.....	41

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

**TITULO:** “IMPLEMENTACIÓN DE MÓDULOS DIDÁCTICOS PARA DETERMINAR PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS Y CURVAS CARACTERÍSTICAS DE BOMBAS DE TORBELLINO PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN LA ASIGNATURA MECÁNICA DE FLUIDOS”

**Autor:** César Augusto Guilcamaigua Guamushig

## RESUMEN

El presente trabajo se encuentra enfocado a implementar módulos experimentales mediante la selección eficiente de materiales e instrumentos, el principal propósito aportar un mecanismo para adquirir conocimientos en temas de mecánica de fluidos. Los materiales, procedimientos de cálculos y metodologías empleadas para la construcción e implementación son base de una serie de procesos, los cuales están predeterminados para la construcción y experimentación con los módulos didácticos. La implementación de los módulos didácticos permitirá determinar pérdidas de carga en tuberías y curvas características de bombas de torbellino, el primer módulo estará construido con una bomba de engrane y varios accesorios de acero galvanizado para trabajar a elevadas presiones y fluido viscoso, por otra parte el segundo módulo utiliza agua como fluido, se conectaran dos bombas en serie y paralelo para observar el comportamiento del fluido, para su construcción se empleara tubería PVC. Esto nos permitirá realizar prácticas y comparar los resultados teóricos con los experimentales y comprobar las diferentes teorías .

**Palabras clave:** Fluido, presión, pérdidas de carga, coeficientes de pérdidas locales, Flujómetro.

# TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

**THEME:** "IMPLEMENTATION OF DIDACTIC MODULES TO DETERMINE LOSS OF LOAD IN PIPES AND CURVES CHARACTERISTICS OF Whirlwind PUMPS FOR THE DEVELOPMENT OF LABORATORY PRACTICES IN THE FLUID MECHANICS SUBJECT"

**Author:** César Augusto Guilcamaigua Guamushig

## ABSTRACT

This work is focused on implementing experimental modules through the efficient selection of materials and instruments; the primary purpose is to provide a mechanism to acquire knowledge of fluid mechanics issues. The materials, calculation procedures and methodologies used for the construction and implementation are based on a series of processes, which are predetermined for the construction and experimentation with the didactic modules. The application of the didactic modules will allow determining losses of load in pipes and characteristic curves of whirlwind pumps, the first module will be built with a gear pump and several accessories of galvanized steel to work at high pressures and viscous fluid; on the other hand, the second module uses water as fluid, two pumps in series and parallel will be connected to observe the behavior of the fluid, for its construction PVC pipe will be used. This will allow the researcher to carry out practices and compare the theoretical results with the experimental ones and check the different theories.

**Keywords:** Fluid, pressure, pressure losses, local loss coefficients, Flowmeter.



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

## *AVAL DE TRADUCCIÓN*

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: la traducción del resumen del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por el señor Egresado de la Carrera de Ingeniería en Electromecánica de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, **GUILCAMAIGUA GUAMUSHIG CÉSAR AUGUSTO**, cuyo título versa **“IMPLEMENTACIÓN DE MÓDULOS DIDÁCTICOS PARA DETERMINAR PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS Y CURVAS CARACTERÍSTICAS DE BOMBAS DE TORBELLINO PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN LA ASIGNATURA MECÁNICA DE FLUIDOS”**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, julio del 2018

Atentamente,

**Ing. Wilmer P. Collaguazo V.**  
**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS**  
**C.C. 172241757-1**



## **1. INFORMACIÓN GENERAL**

**Fecha de inicio:** Marzo 2018

**Fecha de finalización:** Agosto 2018

**Lugar de ejecución:** Laboratorios de Mecánica de Fluidos de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas en la Universidad Técnica de Cotopaxi.

**Facultad que auspicia:** Ciencias de la ingeniería y aplicadas.

**Carrera que auspicia:** Ingeniería Electromecánica.

### **Equipo de Trabajo:**

El equipo de trabajo de investigación está conformado por los señores:

Dr. C. Héctor Luis Laurencio Alfonso

Docente investigador de la Universidad Técnica de Cotopaxi, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la carrera de Ingeniería Electromecánica.

César Augusto Guilcamaigua Guamushig

Estudiante de la Universidad Técnica de Cotopaxi, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la carrera de Ingeniería Electromecánica.

**Área de Conocimiento:** Ingeniería, Industria y Construcción

**Línea de investigación:** Procesos industriales.

La presente investigación está centrada en promover el desarrollo de tecnologías y procesos que permitan mejorar el rendimiento académico y el cambio de métodos de aprendizaje con elevado aporte investigativo, con bases al mejoramiento de la producción industrial acorde a las necesidades profesionales y el diseño de nuevos sistemas de producción. Así como diseñar sistemas para la producción de bienes para las empresas públicas y privadas, con el fin de contribuir al desarrollo socioeconómico del país y al cambio de la matriz productiva de la zona.

### **Sub líneas de investigación de la Carrera:**

El presente proyecto esta direccionado fundamentalmente con las siguientes sub líneas de investigación:

Eficiencia Energética en Sistemas Electromecánicos y Uso de Fuentes Renovables de Energía.

Diseño, Construcción y Mantenimiento de Elementos, Prototipos y Sistemas Electromecánicos.

## **2. DESCRIPCIÓN**

La implementación de los módulos didácticos permitirá determinar pérdidas de carga en tuberías y curvas características de bombas de torbellino, el primer módulo estará construido con una bomba de engrane y varios accesorios de acero galvanizado para trabajar a elevadas presiones con fluido viscoso, por otra parte el segundo módulo utiliza agua como fluido de referencia, se conectarán dos bombas en serie y paralelo para observar el comportamiento del fluido, para su construcción se empleará tubería PVC.

Para el correcto desarrollo de prácticas de laboratorio se propone elaborar un manual que sirva como guía a los estudiantes para la correcta utilización de las instalaciones y el efectivo desarrollo de prácticas, logrando relacionar los resultados teóricos con los experimentales, garantizando el proceso enseñanza-aprendizaje, fortaleciendo las capacidades y mejorando la calidad de la educación.

Al implementar los módulos de prácticas en el laboratorio de mecánica de fluidos se garantizará la adecuada preparación de trabajos investigativos experimentales, la comparación y el análisis de resultados en equipos con bombas, sistemas de medición entre otros. El análisis de cada uno de los elementos y parámetros de operación que intervienen en un sistema permitirá exponer metodologías para la determinación de parámetros característicos de las bombas empleadas, elementos de conducción de fluidos y el comportamiento de los fluidos.

Con el presente trabajo los estudiantes estarán en capacidad obtener resultados de aprendizaje de calidad y excelencia garantizando su preparación correcta en la asignatura, todos tendrán igualdad de oportunidades y participación en las actividades a desarrollarse en la teoría y la práctica en base a la equidad, erradicando toda forma de discriminación.

## **3. JUSTIFICACIÓN**

Ecuador es un país en vías de desarrollo con diferentes universidades distribuidas a nivel nacional pero son muy pocas las que poseen instalaciones adecuadas para el desarrollo de prácticas investigativas acorde al perfil profesional; el presente trabajo se realiza con el

propósito de aportar un mecanismo para adquirir conocimientos en temas de mecánica de fluidos que permitan mejorar el nivel académico de los estudiantes.

En la Universidad Técnica de Cotopaxi prima la ausencia de módulos experimentales para el desarrollo de prácticas en la asignatura Mecánica de Fluidos, siendo estos indispensables en la formación integral del ingeniero electromecánico.

Al presentarse esta deficiencia no permite un adecuado desarrollo académico y por ende ineficiencias a la hora de desarrollar actividades profesionales.

Tras realizar un análisis previo de documentos afines y debido a la no disponibilidad de módulos en el mercado, se tiene la necesidad de implementar, instalaciones de laboratorio que cumplan con las expectativas planteadas además de un manual de prácticas, con esto quien utilizará esta herramienta podrá guiarse adecuadamente logrando resultados favorables incursionándose de mejor manera en el ámbito de aprendizaje.

La presente investigación está centrada en determinar pérdidas de carga en tuberías y curvas características de bombas de torbellino de manera experimental, ya que actualmente solo se puede determinar estos parámetros de forma teórica.

Al culminar esta investigación se logrará beneficiar a los estudiantes que cursen la asignatura Mecánica de Fluidos, garantizar una adecuada formación y preparación, logrando relacionar los resultados experimentales con los teóricos, posicionándonos en un nivel adecuado de conocimientos para el desarrollo de futuras actividades.

En cuanto a la factibilidad de esta investigación se cuenta con los recursos necesarios para la implementación, siendo la Universidad Técnica de Cotopaxi quien proporcione varios elementos, accesorios para su diseño y construcción.

#### 4. BENEFICIARIOS

Los beneficiarios directos de la implementación de módulos didácticos y experimentales serán los estudiantes y docentes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica. Tabla 1.

**Tabla 1.** Beneficiarios directos del proyecto.

	<b>Directos</b>
<b>Docentes</b>	Ingeniería Electromecánica
<b>Estudiantes</b>	Ingeniería Electromecánica

**Fuente:** Autor

Los beneficiarios indirectos serán todas aquellas personas que cursen asignaturas consecutivas a Mecánica de Fluidos y empleadores de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Tabla 2.

**Tabla 2.** Beneficiarios indirectos del proyecto.

	<b>Indirectos</b>
<b>Asignaturas</b>	Mecánica de fluidos
<b>Estudiantes</b>	Ingeniería industrial
<b>Empleadores</b>	Personal administrativo

**Fuente:** Autor

## 5. EL PROBLEMA

Inexistencia de módulos didácticos y experimentales en los laboratorios para la realización de prácticas en la asignatura Mecánica de Fluidos en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

## 6. OBJETIVOS

El cumplimiento secuencial de los objetivos permitirá el buen desarrollo del módulo didáctico y la fabricación.

### **Objetivo general:**

Implementar módulos experimentales de Mecánica de Fluidos para las curvas características de bombas de torbellino y pérdidas en sistemas de tuberías, mediante la selección eficiente de materiales instrumentos y equipos, para la comparación de resultados teóricos con resultados experimentales.

### **Objetivos específicos:**

- Seleccionar los materiales que se ajusten a las necesidades de las instalaciones, considerando su resistencia mecánica, para el adecuado funcionamiento de los módulos didácticos.
- Plantear las metodologías de diseño y experimental de las instalaciones, y el manual para el correcto desarrollo de prácticas.
- Construir las instalaciones para el desarrollo de prácticas en el laboratorio de Mecánica de Fluidos.
- Realizar el análisis de impactos de la implementación, en base a toma de datos y comprobación de resultados.

## 7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

**Tabla 3.** Actividades por objetivo.

Objetivos	Actividades	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad
Seleccionar los materiales que mejor se ajusten a las necesidades de las instalaciones, considerando su resistencia mecánica.	Revisión bibliográfica de documentos referentes a instalaciones de transporte de fluidos.  Análisis de posibles alternativas de materiales a utilizarse tomando en consideración su costo.	Obtención de elementos básicos para solución del problema.  Selección de materiales para la construcción.	Libros, artículos, revistas científicas e internet.  Receptación de información y comparación de características propias de cada material (cálculos).
Plantear las metodologías de diseño y experimental de las instalaciones, y el manual para el correcto desarrollo de prácticas.	Revisión de documentos relacionados al tema para definir la practicas a realizarse.  Realización de pruebas en el módulo con la finalidad de establecer parámetros necesarios para la redacción del manual.  Comparación de los resultados experimentales con los teóricos obtenidos en las pruebas.  Redacción del manual para el buen desarrollo de prácticas de laboratorio.	Obtención de elementos básicos para la ejecución de prácticas.  Obtención de resultados experimentales.  Diferencias entre resultados experimentales y teóricos.  Manual para prácticas de laboratorio.	Libros, artículos, revistas científicas e internet.  Ejecución de pruebas y toma de datos.  Relacionar ambos resultados, verificar variaciones.  Redacción de prácticas de laboratorio.
Construir las instalaciones para el desarrollo de prácticas en el laboratorio de Mecánica de Fluidos.	Elaboración de planos que sirvan de guía para la construcción.  Determinación de costos en el mercado de materiales necesarios para la construcción del módulo.  Construcción del módulo didáctico.	Obtención de planos.  Mejor opción económica para la adquisición de materiales.  Modulo para prácticas investigativas.	Autodesk Inventor  Revisión proformas de distribuidores.  Herramientas de corte, suelda y acabados finales.
Realizar el análisis de impactos de la implementación.	Estudio y análisis de resultado en el estudio de factibilidad.  Evaluación de costos de fabricación e instalación.  Proyección del alcance social.  Verificar que las instalaciones implementadas no sean perjudiciales para el medio ambiente.	Viabilidad del proyecto.  Costos finales de implementación.  Satisfacción social al usar las instalaciones.  Determinación de posibles fallas que afecten al medio ambiente.	Determinación de costos e impacto social.  Contabilizando los costos y gastos.  Indagación de resultados de satisfacción después de utilizar las instalaciones.  Observación de posibles fallas durante operación en la maquinaria.

**Fuente:** Autor

## 8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

La mejor forma para transportar fluidos de un punto a otro es impulsarlo a través de un sistema de tuberías. Económicamente son la mejor opción y gracias a su sección circular son las más usadas, esto nos brinda y mayor sección transversal a diferencia de otras formas. El flujo de un fluido en una tubería viene acompañado de una pérdida de energía, que suele expresarse en dimensiones de longitud, denominada generalmente pérdida de carga.

Conocer las propiedades y aplicar las leyes de la mecánica de fluidos son factores importantes para el estudiante de ingeniería, la mayor parte de procesos, acontecimientos, estructuras y maquinaria con las que trabajan están relacionados con fluidos que determinan tanto sus especificaciones de diseño y selección como sus condiciones de operación.

### Estudios de precedentes

En el 2005 M.R. Bandala-Rocha, R.C. Macedo y Ramírez y J.F. Vélez-Ruiz en su trabajo denominado Evaluación de Coeficientes de Fricción en el Transporte de Fluidos No Newtonianos realizaron la medición de caídas de presión para obtener coeficientes de fricción de fluidos para ello emplearon un sistema de transporte con varios accesorios. Los coeficientes de fricción muestran tendencia a incrementarse con respecto al aumento de concentración de sólidos [1].

Planteamiento de modelos matemáticos para el transporte hidráulico de café a través de tubería PVC de 88 mm para establecer la pérdida de presión a lo largo de tuberías verticales y horizontales, codos a 90°. El análisis estadístico realizado permite determinar los valores más probables de las cantidades calculadas, a partir del grupo limitado de datos obtenidos, para rangos de velocidad de transporte entre 1,0 y 2,5 [m/s] y de concentración de sólidos en la mezcla agua-café entre 10 y 40% [2].

Implementación un banco un de pruebas determinar pérdidas de energía, en el fluido que circula, a través de codos y válvulas, para el cual se diseñó y construyó un orificio medidor de caudal y siete anillos piezométricos. También presento una propuesta de guías para realizar las prácticas de laboratorio, mantenimiento mínimo y operación, para facilitar el buen uso y aumentar el período de reparación del banco [3].

Realizaron un trabajo de investigación para analizar la problemática sobre las pérdidas secundarias en accesorios hidráulicos, y el modelo matemático que las representa. Ensayando

en diversos accesorios debido a la falta de información sobre los coeficientes de pérdidas en dos casos específicos. Determinado las pérdidas en función de la velocidad en tuberías y accesorios para la conducción de fluidos [4]. En base al paso del tiempo se ha existido una serie de determinación de pérdidas en fluidos de distintas formas las cuales se han mejorado a paso del tiempo y con diferentes materiales

Análisis para determinación de pérdidas de carga en tuberías, diseño de banco de pruebas con un sistema de tuberías por donde circulaba agua. Controlando dos variables caudal y presión, la medición de presión fue realizada por medio de manómetros [5].

Diseño y construcción de un sistema de tuberías en paralelo para la medición de las constantes de accesorios, utilizando un manómetro diferencial para conocer el valor de las constantes de los accesorios experimentalmente y compararlos con datos de bibliografía, obtuvieron resultados positivos ya que el porcentaje de error fue de 2% [6].

Construcción de un equipo de laboratorio para determinar pérdidas friccionales y localizadas para complementar los conocimientos teóricos impartidos en la cátedra de mecánica de fluidos con la parte experimental, la toma de datos se emplearon manómetros de vidrio tipo U para mayor precisión y comodidad en la experimentación, los resultados obtenidos varían de acuerdo a la viscosidad del fluido, el material de la tubería, el diámetro y el caudal [7].

Investigación experimental del flujo de fluidos en sistemas de tuberías horizontales con fluidos incompresibles, para ello emplearon una válvula de compuerta, medidor Venturi y varios elementos de para conexiones de presión, las tomas de presión se realizaron a través de manómetros en diferentes puntos, las pérdidas se presentan en secciones específicas donde la geometría cambia, las pérdidas disminuyen a medida que se reduce el caudal másico para todas las geometrías de la tubería [8]. Existen diferentes métodos para determinar las pérdidas en tuberías lo cual ayuda a obtener técnicamente los valores que se requiere para comprobar su correcto funcionamiento y disminuyendo el riesgo de afectación en las tuberías.

Diseño de un laboratorio virtual para medir pérdidas de presión para obtener datos experimentales y teóricos de pérdidas de carga, empleando una interfaz que reciba datos a través de dos sensores de presión y un medidor de flujo que envía datos a la tarjeta de adquisición de datos que procesa y transmite a un PC, los datos que indican el aumento del coeficiente de pérdidas de energía a medida que se cierra la válvula donde realizan su investigación [9].

## **Marco de referencia de la investigación.**

Se da a conocer acerca de los diferentes conceptos utilizados en la investigación.

### **Flujo de fluidos**

A continuación se detallan conceptos y propiedades relacionados a fluidos incompresibles.

### **Flujo de fluido viscoso**

No todos los fluidos se comportan de igual manera; esto es debido a la viscosidad que posea el mismo (resistencia del fluido al cambio de forma si se le es aplicada otra fuerza).

Los efectos viscosos de los fluidos se empezaron a abordar experimentalmente en tuberías con flujos a baja velocidad, el primer intento de incluir efectos de viscosidad se lo realizó con ecuaciones de mecánica de fluidos por el ingeniero francés Claude Navier en 1827, y en 1845 George Stokes perfeccionó las ecuaciones básicas para fluidos viscosos.

Borja afirma que uno de los métodos más empleados para medir viscosidades corresponde al método de Stokes, donde se deja caer una bolilla en un fluido contenido en tubo vertical. Si la longitud del tubo y la viscosidad del fluido son suficientemente grandes, a partir de una profundidad dada, la bolilla cae con velocidad prácticamente constante [6].

Las tuberías lisas ofrecen poca o despreciable resistencia al flujo, mientras que las superficies más rugosas ofrecen una resistencia creciente dependiendo del grado de rugosidad. Esta resistencia afecta el caudal ( $Q$ ) y la distribución de velocidad del fluido de proceso en la tubería. La resistencia aumenta para valores ( $Q$ ), en transición y regiones de turbulencia [10].

Mientras que el transporte de fluidos depende de la cantidad de fluido y la capacidad de la bomba y tubería, las propiedades de los fluidos a transportar son importantes ya que estos determinan si el fluido fluirá con poca o alta resistencia. La elección de cualquier tubo para un fluido de proceso particular se basa en la correlación entre el caudal y el área de sección transversal del tubo.

A través de los sistemas el fluido sólo fluye espontáneamente si su energía total disminuye en la dirección del flujo. De no ser así, habrá que comunicarle energía desde el exterior mediante dispositivos tales como bombas, en el caso de líquidos. Tal aporte de energía puede invertirse en aumentar la velocidad, la altura o la presión del fluido [11].

La cantidad de energía que se suministrara a un fluido para conseguir su desplazamiento por un sistema determinado dependerá de su caudal, de la altura a que deba elevarse, de la presión

con que se requiera al final de su recorrido, de las longitudes y diámetros de los tramos rectos de conducción, de los accidentes (ensanchamientos, estrechamientos, curvaturas válvulas, codos, etc.) intercalados entre ellos y de sus propiedades físicas, fundamentalmente su viscosidad y su densidad.

Como se observa en los trabajos descritos, la investigación del flujo de fluidos por tuberías, es de vital aplicación en las industrias, lo que debe ser una herramienta en la formación de los ingenieros electromecánicos. La mayoría de estos trabajos se han realizado en instalaciones muy similares a la que se proponen en este trabajo, esto favorece la justificación y el valor práctico propuesto.

### **Propiedades de los líquidos**

La mecánica de fluidos estudia las leyes del movimiento de los fluidos y sus procesos de interrelación con los cuerpos sólidos, siendo una mezcla de la teoría con el experimento de trabajos presentados por ingenieros hidráulicos y matemáticos que abordan este problema desde un punto analítico. Una característica fundamental de los fluidos es la fluidez, debido a que el fluido cambia de forma de manera continua cuando se encuentra sometida a un esfuerzo cortante, por más pequeño que este sea; unos se moverán más rápidos que otros debido a la densidad de cada fluido pero ante la presencia de un esfuerzo cortante siempre se moverán [12].

### **Densidad**

La densidad de una sustancia es su masa por unidad de volumen, o dicho de otra forma, la cantidad de masa contenida en un volumen. La unidad de densidad en el SI es el kilogramo por metro cúbico y se denota con la letra griega Rho ( $\rho$ ).

**Presión:** es una magnitud escalar que se usa para medir la fuerza que se ejerce sobre una superficie en dirección perpendicular. La unidad que se utiliza para medir la presión es el Pascal (Pa).

**Peso específico:** se define como el peso por unidad de volumen en el sistema internacional sus unidades son  $[N/m^3]$ .

**Volumen específico:** es el volumen ocupado por unidad de masa. Su unidad en el sistema internacional son  $[m^3/kg]$ .

**Viscosidad:** es aquella propiedad que refleja la resistencia al movimiento del fluido y tiene un papel análogo al del rozamiento en el movimiento de los sólidos. La viscosidad está siempre

presente en mayor o menor medida tanto en fluidos compresibles como incompresibles. En caso de fluidos no viscosos su efecto es muy pequeño y no se tiene en cuenta, en el caso de fluidos viscosos su efecto es importante y no es posible despreciarlo.

**Compresibilidad:** es el cambio que sufre el volumen de una sustancia cuando hay un cambio de presión. La mayoría de veces esta compresibilidad es despreciable al ser muy pequeña pero para presiones muy altas y en acústica bajo el agua (sonar) es tomada en cuenta.

**Presión de saturación:** la presión a la cual los líquidos hierven. Esta es la presión parcial de equilibrio que las moléculas que están escapando del líquido ejercerán sobre cualquier superficie libre; su magnitud se incrementa con la temperatura. Para que se presente la ebullición, el equilibrio debe alterarse, elevando la temperatura para que la presión de saturación iguale o exceda la presión total aplicada a la superficie libre, o bajando la presión total aplicada a la superficie libre hasta que sea igual o menor que la presión de vapor [13].

**Gravedad Específica:** la gravedad específica de un fluido, denominada SG, se define como la relación entre la densidad del fluido y la densidad del agua a una temperatura determinada. Normalmente la temperatura especificada se toma como 4 ° C. A esta temperatura la densidad de agua es de 1,94 slugs / ft<sup>3</sup> [14].

### **Principios del flujo de fluidos**

Los principios que rigen el comportamiento de los fluidos se describen a continuación.

#### **Flujo laminar**

Es el tipo de flujo que existe a bajas velocidades y muchas veces con régimen viscoso, caracterizado generalmente por el deslizamiento de capas de manera ordenada.

#### **Flujo turbulento**

Cuando el fluido circula a través de la tubería a velocidades mayores que la crítica, el régimen es turbulento y el fluido realiza un movimiento irregular e indeterminado de las partículas del fluido en direcciones transversales a la dirección principal del flujo. [15].

### **Clasificación reológica de los fluidos**

Reología: Estudio de las características de deformación y de flujo en fluidos viscosos.

Se clasifican en dos grupos:

### **Fluidos newtonianos**

Todo fluido en el cual su viscosidad puede permanecer constante, el esfuerzo cortante en el fluido es directamente proporcional al gradiente de velocidad. La viscosidad solo es función de la condición del fluido, en particular de su temperatura. Los fluidos más comunes son agua, aceite, gasolina, alcohol, keroseno, benceno y glicerina [16].

### **Fluidos no newtonianos.**

Todo fluido en el cual su esfuerzo cortante en el fluido no sea directamente proporcional al gradiente de velocidad se llamara fluido no newtoniano.

La viscosidad del fluido depende del gradiente de velocidad y de la condición del fluido [16].

### **Máquinas de flujo.**

Son aquella en las que la energía del fluido se transforma en energía mecánica, para ser aprovechada en diferentes campos a nivel industrial. Un ejemplo claro de ello es un generador acoplado, energía eléctrica.

Las maquinas generadoras por el contrario absorben energía mecánica e incrementan la energía del fluido [17].

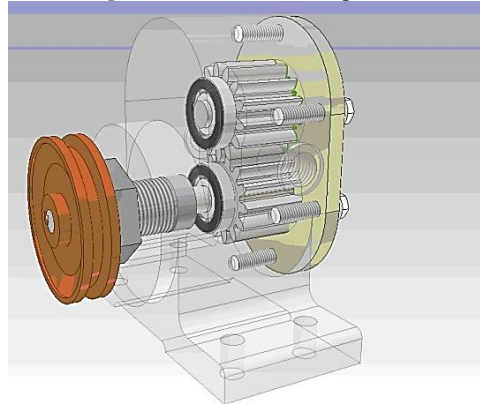
Las máquinas de fluido se suelen clasificar según varios principios. Las dos clasificaciones presentadas a continuación:

### **Bomba de engrane.**

La bomba de engranajes son los componentes más utilizados actualmente para bombeo de fluidos viscosos. Se caracterizan por su versatilidad, resistencia y larga duración. La simplicidad en la construcción permite que los costes de compra y mantenimiento sean reducidos. Permiten obtener altos rendimientos volumétricos aun con presiones de trabajo elevadas, producen bajo nivel sonoro y se caracterizan por su elevada duración.

Cuando se utiliza para viscosidades elevadas, esta bomba ofrece un suave y constante flujo. Poseen dos partes movibles, son confiables, simples de operar y fáciles de mantener. Pueden funcionar en cualquier dirección, permitiendo un rango más amplio de aplicación.

En la bomba, la cámara S (de admisión), por la separación de los dientes, en la relación se libera los huecos de dientes. Esta depresión provoca la aspiración del líquido desde el depósito. Como se visualiza en la figura 1.

**Figura 1. Bombas de engranes****Fuente:** [17]

### **Bombas de torbellino**

Las bombas de torbellino son empleadas transporte de fluidos sin partículas abrasivas, aumentando la presión dada de la red. Gracias a las dimensiones pequeñas de la bomba de torbellino es posible crear distintos sistemas de circulación, acondicionamiento, refrigeración y otros.

Las bombas de torbellino combinan las ventajas de las bombas del tipo volumétrico (las altas presiones a las presentaciones pequeñas) y las bombas dinámicas (la dependencia lineal de la presión de la bomba de la presentación, la uniformidad del flujo). Poseen una eficiencia de promedio del 60%, poco desgaste, diseño simple, bajo costos.

Una de las características es su diseño exclusivo de carcasa en espiral axial, que permite el flujo de los sólidos por el circuito directamente desde la bomba, minimizando la recirculación interna, que es perjudicial para las eficiencias hidráulicas y aumenta el desgaste de la bomba. Este diseño no requiere piezas de desgaste sacrificiales por el contrario brinda beneficios por un menor consumo de energía. Como se visualiza en la figura 2.

**Figura 2. Bomba de torbellino****Fuente:** [18]

## **Métodos e instrumentos de medición de mecánica de los fluidos**

Los sistemas modernos permiten realizar mediciones en fluidos determinar sus características de presión, velocidad, temperatura y concentración para ello se analizaran diferentes procesos y técnicas empleados en la medición de fluidos. Los instrumentos que llevan a cabo la medida de un flujo volumétrico se denominan, habitualmente, flujómetros o medidores de caudal.

Un medidor de caudal toma datos de la cantidad de peso o volumen que pasa por una sección transversal dada por unidad de tiempo.

Dentro de los medidores de tasa se incluyen el orificio, la boquilla, el medidor Venturi, el rotámetro y el vertedero.

Los medidores de flujo volumétrico pueden determinar de dos formas:

- Directamente, mediante dispositivos de desplazamiento positivo, o
- Indirectamente, mediante dispositivos de: presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, etc.

### **Métodos de medición de caudal**

1. Invasivos.
2. No invasivos.
3. Tabla explicativa.
4. Criterios para la selección.
5. Métodos de medición de variables eléctricas.

### **Medición de presión**

Se emplea generalmente para medir elevaciones de niveles de líquidos o en muchos aparatos para determinar la velocidad o caudal de una corriente de fluido.

### **Manómetros**

Sn aparatos que sirven para medir presiones y son empleados tanto en laboratorios como en la industria, como se observa en la figura 3, estos deben ser necesariamente variados ya que miden desde presiones de vacío hasta elevadas presiones con un grado precisión muy diverso y en diferentes medios (temperaturas elevadas, atmosferas explosivas, etc) [17].

**Figura 3.** Manómetro Ø53 conexión posterior



Fuente: [19]

### Dispositivo para la medición de flujo.

La medida de caudal en conductos cerrados, permite determinar la masa o volumen que circula por el conducto por unidad de tiempo.

Los medidores de caudal pueden determinar el caudal de volumen de fluido de forma directa mediante dispositivos de desplazamiento positivo o indirecta mediante dispositivos de: presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, etc.

Para la medición de flujo se utilizan diversos dispositivos que permiten determinar el flujo de un sistema de transporte de fluidos.

### Caudalímetro

Los caudalímetro para agua generalmente utilizan un tubo de Pitot y un diseño de flotador con bordes duros para proporcionar un medio conveniente y económico para medir el flujo de agua en un sistema de tuberías cerrado. Como se visualiza en la figura 4.

**Figura 4.** Caudalímetro para fluidos con arduino



Fuente: [20]

## **La Automatización y control.**

La automatización es la aplicación de una serie de tecnologías mediante la cual podemos controlar y monitorear un proceso, maquina, aparato o dispositivo que por lo regular cumple funciones o tareas repetitivas, haciendo que opere automáticamente.

### **Definición de control automático**

El control automático es el mantenimiento de un valor deseado dentro de una cantidad o condición, midiendo el valor existente, comparándolo con el valor deseado, y utilizando la diferencia para proceder a reducirla. En consecuencia, el control automático exige un lazo cerrado de acción y reacción que funcione sin intervención humana

### **Componentes para automatizar diferentes sistemas**

Para automatizar un sistema cualquiera, se necesita la aplicación de diferentes elementos los cuales dan forma al control sobre un área o un proceso. Los elementos principales son:

Un sensor es un objeto capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.

Un actuador es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado.

### **Microcontrolador arduino**

Arduino es una plataforma para poder desarrollar proyecto de electrónica. Donde trabaja con software libre para su desarrollo además que el hardware es económicamente accesible [21].

### **Programación**

En el campo de la electrónica existen diferentes proyectos cuyo propósito esencial es el de trabajar bajo la tendencia de DIY, Do it Yourself, que propone el desarrollo de proyectos por su propia cuenta. Donde el principal escenario es el desarrollo de aplicaciones que son programadas y ejecutadas en un hardware. Enfocado hacia programadores que con entorno de hardware y software.

Este enfoque ha generado muchas empresas lancen sus prototipos de desarrollo tanto para hardware y su propio software. En donde el principal objetivo es llamar más la atención de los apasionados por los circuitos y que cada vez buscan alternativas más económicas que sean capaces de cumplir con todos sus requerimientos. En cuanto a software, lenguajes de

programación, módulos, interacción con los diferentes dispositivos de circuitos y que sean capaces de interactuar en cualquier tipo de ambiente.

## 9. HIPÓTESIS

Con la implementación de módulos experimentales para prácticas de fluidos se podrá analizar los parámetros de operación, sistemas de medición y determinar pérdidas de presión primarias y secundarias, logrando relacionar los resultados teóricos con los resultados experimentales para garantizar la adecuada preparación del Ingeniero Electromecánico.

## 10. METODOLOGÍAS

Este capítulo se detalla los procesos necesarios para cumplir con el objetivo. La operacionalización de las variables se detalla en el anexo 2.

### Procedimientos para la realización de prácticas

Para realizar las prácticas existen una serie de pasos de acuerdo al módulo, los cuales se dan a conocer a continuación:

### Determinación de coeficientes de pérdidas locales

#### Objetivos

- Definir las ecuaciones de cálculo para la obtención de las pérdidas locales
- Mostrar los métodos e instrumentación correspondientes a la instalación.
- Obtener los valores de coeficiente de resistencias y compararlos con los valores normalizados.

#### Resumen

Para el flujo laminar como turbulento, se demostrara el comportamiento de las pérdidas por fricción ocasionadas por fluidos a través de accesorios.

Para la estimación de las pérdidas de presión por resistencias locales se utiliza fundamentalmente la expresión:

$$\Delta P_{loc} = \xi_{loc} \cdot \frac{1}{2} \cdot v^2 \cdot \rho$$

**Ec. (1)**

Siendo:  $\xi_{loc}$ : coeficiente de fricción de pérdidas locales; (adimensional).

$\rho$  - densidad del fluido; (kg/m<sup>3</sup>).

El mismo se puede encontrar como una función del número de Reynolds y de las relaciones geométricas del sistema de flujo. Las pérdidas en metros de columna de líquido se expresa por:

$$H_{loc} = \xi_{loc} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

**Ec. (2)**

La velocidad del fluido se determina por:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}$$

**Ec. (3)**

Sustituyendo la ecuación (3) en la ecuación (2) queda:

$$H = \xi_{loc} \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2 \cdot D^5}$$

**Ec. (4)**

Despejando  $\xi_{loc}$  tenemos:

$$\xi_{loc} = \frac{H \cdot g \cdot \pi^2 \cdot D^5}{8 \cdot Q^2}$$

**Ec. (5)**

El factor  $\xi$  es adimensional y su valor depende del tipo de accesorio y diámetro del mismo; se define como la pérdida de altura de velocidad para una válvula o accesorio.

Algunos fabricantes pueden proporcionar su factor  $\xi$ , por lo tanto, deberá utilizarse ese valor, pero en el caso de no contar con esta información es conveniente utilizar las fórmulas para el cálculo del factor  $\xi$ . Este coeficiente se recomienda correlacionar en función del número de Reynolds y se designa por:

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu}$$

**Ec. (6)**

**Dónde:**

$\mu$  Viscosidad del fluido;(Pa·s).

$D$  ; Diámetro interior; (m).

Los valores de este coeficiente dependen del tipo de accesorio. En la tabla 4 se muestran diferentes valores de según el accesorio.

**Tabla 4.** Valores de los coeficientes de resistencias locales.

<b>Accesorio</b>	$\xi$
Codo de 90°	0.9
Válvula de bola	0.11

Fuente: Autor

### Descripción de la práctica

Comprobar la conexión de las mangueras a los manómetros

Con las válvulas (2, 3) completamente cerradas poner en marcha la bomba.

Tomar la lectura ( $\Delta P$ ) de los manómetros de (2) y (7) para el accesorio (codo) y entre (8) y (9) para el accesorio (válvula) para determinar el coeficiente de pérdidas locales que se produce a relacionarse las pérdidas de carga en función del flujo volumétrico, variando este mediante la apertura de válvula de regulación. Abrir paulatinamente la válvula de regulación del flujo volumétrico y repetir la operación para cuatro posiciones diferentes introduciendo en cada caso los resultados de las mediciones en la tabla 5.

**Tabla 5.** Recopilación y tratamiento de datos

$\Delta P$		$Q$		$\xi$	Re
(Psi)	Pa	(l/min)	(m <sup>3</sup> /s)		
Manómetro	$\Delta P$	Caudalímetro	/60	Ec. (5)	Ec. (6)

Fuente: Autor

### Preguntas

1. Mencione el objetivo de la experimentación mostrada.
2. Mencione la consecuencia que trae consigo las pérdidas locales.
3. Cómo se puede disminuir las pérdidas locales en la instalación.

### Obtención experimental del gradiente de presión y factor de fricción en tuberías

La ley de resistencia en tubería muestra, que en el caso de corriente laminar, en un tubo circular, la pérdida de carga por rozamiento es proporcional al flujo volumétrico y a la viscosidad a la primera potencia y es inversamente proporcional al diámetro a la cuarta potencia. Esta ley denominada a menudo ley de Poiseuille, se emplea para el cálculo de tuberías con régimen laminar de corriente.

## Objetivos

- Obtener el comportamiento de gradiente de presión en régimen laminar.
- Correlaciones el factor de fricción en función del número de Reynolds.

## Resumen

Mediante la obtención de los gradientes de presión se puede elaborar el gráfico de  $i = f(v)$  para el flujo durante el transporte, siendo:

$$\frac{dp}{dL} = i$$

**Ec. (7)**

Con la obtención del gráfico  $i = f(Re)$  se puede observar la correlación entre el factor de fricción con el aumento del número de Reynolds. El factor de fricción quedará determinado por la relación:

$$\lambda = i \cdot \frac{2 \cdot D}{\rho \cdot v^2}$$

**Ec. (8)**

Los números de Reynolds, se podrá calcular en dependencia del modelo reológico del fluido estudiado por las siguientes expresiones.

Para fluidos newtonianos

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu}$$

**Ec. (9)**

Para fluidos pseudoplásticos.

$$Re = \frac{8^{1-n} \cdot d_{tub}^n \cdot v^{2-n} \rho_{col}}{k} \left[ \frac{4 \cdot n}{3 \cdot n + 1} \right]$$

**Ec. (10)**

## Descripción de la práctica

Para realizar la experimentación del comportamiento reológico se parte de variar el flujo volumétrico para el número de revoluciones y tres diámetros de tubería diferente, en cada caso se deben registrar la caída de presión medida por los manómetros (1) y (2); (3) y (4); (5) y (6). Se determinan las curvas de flujo a partir del factor de fricción ( $\lambda$ ) en el rango del número de Reynolds ( $Re$ ).

Con las curvas de flujo, se procede al ajuste de los datos experimentales, los que se deben mostrar según la tabla 6 y utilizando el programa profesional Microsoft Excel, se procede a obtener los parámetros del modelo matemático que relaciona el factor de fricción con el número de Reynolds, así como su coeficiente de correlación.

**Tabla 6.** Recopilación y tratamiento de datos.

<b>n (rev/min)</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>v (m/s)</b>	<b><math>\Delta P</math> (Pa)</b>	<b><math>\lambda</math></b>	<b>Re</b>
1100	Caudalímetro- medidor de caudal con arduino	Ec. de continuidad	Manómetro	Ec $\gamma = \frac{8 \cdot v}{D}$	Ec.(9) o (10)

Fuente: Autor

### Preguntas

1. ¿Cómo se clasifican los regímenes de flujo y de qué parámetro depende?
2. ¿Cuáles son las condiciones necesarias para el régimen laminar de flujo?

### Experimentación con bombas de torbellino funcionamiento en serie y paralelo

Se explicará su funcionamiento, eficiencia alcanzada y relación entre presiones de entrada y salida, todo esto en base a los resultados obtenidos mediante la utilización de diferentes elementos de medición y equipos que permitieran obtener datos de presión y el caudal. Además, se analizará el comportamiento del caudal frente a diversas variables en las distintas situaciones (conexión simple, en serie, en paralelo) así como también la altura de elevación alcanzada por el fluido.

### Objetivos

- ✓ Analizar el comportamiento entre el caudal y la altura del fluido, y también entre el caudal y la eficiencia de la bomba.
- ✓ Comprobar si la ley de semejanza tiene relación empírica y teórica.
- ✓ Determinar cuándo se obtiene la mejor eficiencia entre las bombas en serie, o paralelo o solamente una de ellas.

### Descripción de la práctica

El equipo de puede adecuar para que las bombas puedan trabajar en serie, paralelo o solamente una bomba en funcionamiento, y todo esto se puede lograr abriendo o cerrando las válvulas que están en el sistema. Toda la toma de datos se realiza a través de instrumentos de

medición. Para la primera parte de la experiencia se trabaja con una sola bomba, para esto se debe cerrar la válvula 2 y 3, abrir la válvula 1, 4 y 5. Se debe tomar la medida del caudal (que lo mide el Flujómetro) con una cierta cantidad de revoluciones (rpm) y con esto se consiguen diferencias de presiones (las que se captan con los instrumentos de medición, los cuales después se tienen que pasar a gráficos para analizarlos).

A continuación, se hace el mismo procedimiento que la actividad anterior, pero ahora se trabaja con las bombas en serie, para esta parte se tiene que cerrar las válvulas 2 y 4 abrir las válvulas 1, 3 y 5, además se toman los datos para hacer los gráficos correspondientes. Después de eso, se hace lo mismo pero con las bombas en paralelo, cerrando la válvula 3, el resto de ellas abiertas, el resto de esto es de la misma manera que los anteriores.

Para finalizar, se procede a trabajar con una sola bomba, pero ahora se variara la abertura de la válvula 1 en una cierta cantidad de ángulos. Se debe dejar al máximo el caudal y al ir variando la válvula esta irá cambiando su caudal, además de su presión y su rendimiento, para después analizar su funcionamiento.

### **Materiales para la construcción de los módulos didácticos**

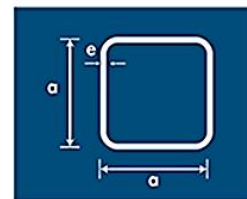
Se da a conocer los diferentes materiales, los cuales van a ser utilizados en la construcción de los módulos didácticos.

#### **Tubos cuadrados**

Son de uso común en muebles metálicos, divisiones modulares, pasamanos, viviendas fabricación de remolques, industria automotriz estanterías, línea blanca, juegos infantiles, estructuras espaciales, cerrajería, (puertas). Fabricados bajo la norma NTE INEN 2415 en longitudes de 6 metros y otras longitudes bajo pedido. No poseen recubrimiento, Especificaciones técnicas se representan en la tabla 7.

**Tabla 7.** Especificaciones técnicas tubos cuadrados

Denominación	Dimensión		Peso	
	a	e	kg/m	kg/6m
Pulgadas	mm	mm		
1/2	12	0.75	0.29	1.71
		0.90	0.34	2.06
		0.75	0.46	2.75
3/4	20	0.90	0.54	3.24
		1.10	0.65	3.88
		0.75	0.58	3.48
1	25	0.90	0.69	4.15
		1.10	0.84	5.05
		0.90	0.83	5.00
1 1/4	30	1.10	1.02	6.09
		0.90	1.05	6.27
1 1/2	40	1.10	1.27	7.61



Fuente: [22]

### Tubos ISO galvanizado

Son de uso general en la conducción de fluidos como agua, vapor, gas y aire a presión. Están fabricados bajo la norma ISO 65/NTE INEN 2470, poseen un recubrimiento interno y externo galvanizado. La capa promedio de material galvanizado es ASTM A53: min 550 gr/m<sup>2</sup>

Especificaciones técnicas se visualiza en la tabla 8.

**Tabla 8.** Especificaciones técnicas tubos cuadrados

Descripción	Diám. Ext. mm	Light - 2	
		Espesor	Peso
		e mm	P kg/m
½	21.30	2.00	5.68
¾	26.90	2.30	8.28
1	33.70	2.60	11.88
1¼	42.40	2.60	15.24
1½	48.30	2.90	19.38
2	60.30	2.90	24.48
2½	73.00	3.20	34.26
3	88.90	3.20	40.32
4	114.30	3.60	58.50



Fuente: [22]

### Tubería PVC (Poli cloruro de vinilo)

Tubería para presión fabricada bajo la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1373, ofreciendo amplia gama de diámetros y presiones con 6 metros útiles, no produce corrosión, adherencia de algas, hongos entre otros. Su módulo de elasticidad le permite una alta resistencia a las sobrepresiones hidrostáticas por golpe de ariete y a los esfuerzos producidos por cargas externas del material de relleno, de tráfico y sísmicas. Posee un bajo coeficiente de fricción comparado a otros materiales, asegurando mejor capacidad de conducción. Además posee bajo peso lo que facilita el transporte, manipuleo e instalación [23].

### Electrodos 6011

Electrodo del tipo celulósico, para soldaduras de penetración. El arco es muy estable, potente y el material depositado de solidificación rápida, fácil aplicación con corriente continua y alterna [24].

La rápida solidificación del metal depositado facilita la soldadura en posición vertical y sobre cabeza. El arco puede ser dirigido fácilmente en cualquier posición, permitiendo altas velocidades de deposición (soldadura). Este electrodo es apto para ser utilizado en todas las

aplicaciones de soldadura en acero de bajo carbono, especialmente en trabajos donde se requiera alta penetración [25].

### **Discos de corte y desbaste**

Los discos de corte son herramientas abrasivas empleados en amoladoras angulares utilizadas para el corte de diversos tipos de materiales, metálicos y no metálicos con menor retiro de material, baja producción de calor, poco ruido, y menos rebabas. Los discos de Corte se caracterizan por su espesor que va desde 0,8mm hasta 3,2 mm, y deben de ser utilizados a 90°.

Los discos de corte y desbaste son utilizados en tareas industriales donde la calidad y velocidad del corte son parte esencial al realizar trabajos exigentes en tiempo y forma adecuados. Independientemente de si requiere remover material, biselar, desbastar, ranurar, cortar o suavizar bordes.

### **Thinner**

La palabra adelgazador o en inglés “Thinner”, es una mezcla de solventes de diferentes tipos, unos que se evaporan rápidamente y otros que se evaporan lentamente (retardadores). El thinner tiene un excelente poder de disolución, posee disolventes que mejoran la velocidad de evaporación y puede usarse como reductor de la viscosidad con todo tipo de pinturas, facilitando con ello la aplicación de productos como: lacas transparentes y de color, selladoras y fondos pigmentados.

### **Procedimientos para la fabricación de los módulos didácticos.**

Existen una serie de procedimientos los cuales van a ayudar a fabricar los módulos didácticos

#### **Selección del electrodo adecuado**

Para escoger el electrodo adecuado es necesario analizar las condiciones de trabajo en particular y luego determinar el tipo y diámetro de electrodo que más se adapte a estas condiciones. Existen siete factores fundamentales en la selección de electrodos para soldadura por arco eléctrico:

1. Identificación del metal base.
2. Tipo de corriente disponible para la soldadura; corriente alterna o continua para la operación.
3. Posición en la cual debe efectuarse la soldadura.
4. Espesor y forma del metal base.

5. Diseño de la junta.
6. Especificaciones o condiciones de servicio requeridas para el trabajo.
7. Eficiencia y rapidez requerida en la operación.

El consumo de insumos de soldadura se calcula en función del espesor de la placa, el proceso de soldadura, el ángulo de ranura, y la abertura de raíz para las juntas a tope. Con respecto a las juntas de filete, se calcula en función del tamaño del filete, proceso de soldadura, y el tamaño del refuerzo. Estos diagramas se desarrollaron mediante el uso de los cálculos obtenidos por la siguiente ecuación. Como se visualiza en la figura 5.

$$C = [(A1 + A2) \cdot L \cdot \frac{G}{E}] \cdot \frac{1}{10}$$

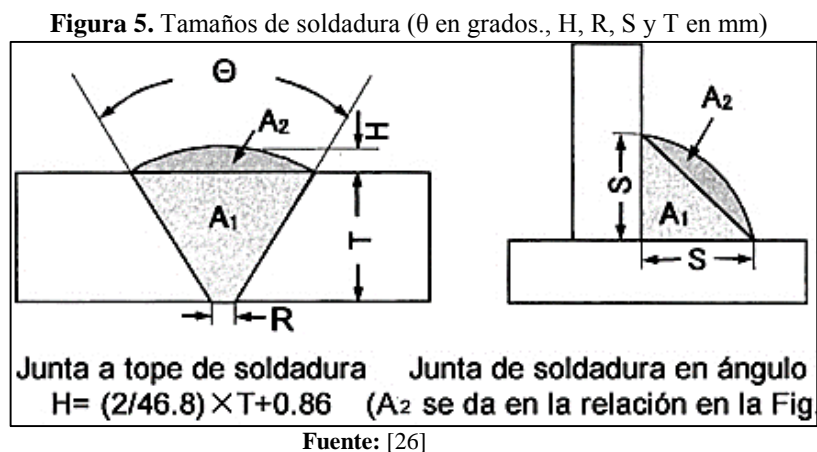
**Ec. (11)**

**Dónde:**

C: Consumo de insumos de soldadura; (kg)

A1: Área del metal de soldadura de la sección A1;(mm<sup>2</sup>)

A2: Área del refuerzo de la sección A2;(mm<sup>2</sup>).



**Dónde:**

L: Longitud de soldadura (m)

G: Gravedad específica del metal de soldadura (7.85 g/cm<sup>3</sup>)

E: Eficiencia de deposición (%)

### **Proceso de corte y pulido**

Los materiales previo y después del proceso de soldadura deben ser preparados cumpliendo los siguientes pasos para garantizar un terminado con alto grado de calidad.

1. Para el uso de la herramienta abrasiva las instrucciones de uso del fabricante. Nunca use una herramienta defectuosa.
2. Las partes a rectificar deben diseñarse de tal modo que se puedan sujetar con firmeza, sea entre mordazas, mesas magnéticas o soportes y sujetadores adecuados.
3. Utilizar todos los equipos de protección personal.

### **Proceso de soldadura**

La soldadura con electrodo revestido es la forma más común de la soldadura al arco. A continuación se enlistan los pasos a seguir para realizar una soldadura adecuada.

1. Seleccionar el Acero
2. Elija una Unión y el Electrodo adecuado para el Material a soldar.
3. Siga los Principios Simples para Geometría de Uniones y Preparación.
4. Evite la Sobre soldadura
5. Limpie la Unión Antes de Soldar

Para obtener los mejores resultados, se recomienda un arco de longitud mediana que permita controlar mejor la forma y aspecto del cordón.

Para soldadura de filetes planos y horizontales, se recomienda mantener el electrodo a 45° con cada plancha, oscilándolo en el sentido del avance. El movimiento adelante tiene por objeto obtener buena penetración y el movimiento hacia atrás controla la socavación y la forma del cordón.

En la soldadura vertical se recomienda llevar el electrodo en un ángulo de casi 90°, inclinándolo ligeramente en el sentido de avance.

Se debe llevar un movimiento de vaivén, alargando el arco para no depositar metal en el movimiento hacia arriba y luego acortándolo para depositar en el cráter y así controlar las dimensiones del depósito y la socavación [25].

### **Proceso para roscado de tubería**

Se emplea terrajas de acero con ranuras o canales longitudinales, de forma y dimensiones apropiadas, capaces de tallar, por arranque de viruta, una rosca en un cilindro y así obtener un tornillo o varilla roscada.

Una rosca es un hueco helicoidal construido sobre una superficie cilíndrica, con un perfil determinado y de una manera continua y uniforme, producida al girar dicha superficie sobre su eje y desplazarse una cuchilla paralelamente al mismo.

El proceso de mecanizado de roscas en las piezas se puede realizarse a mano o a máquina

### **Proceso de pintura**

Conocer la corrosividad del medio ambiente.

Preparación de la superficie: eliminar todos los residuos visibles de aceite, grasa, sales y otros contaminantes. Métodos de aplicación pistola: aquella que se realiza mediante una pistola de proyección requiere baja viscosidad evitando que se produzcan descuelgues, superficies no homogéneas, método empleado para todo tipo de revestimientos metálicos permite diversos tipos de acabado [27].

### **Equipos de fabricación de los módulos didácticos.**

Se da a conocer los diferentes equipos los cuales van a ser utilizados en la fabricación de los módulos didácticos.

### **Terrajas**

Son de acero al carbono o acero rápido templado, para darles mayor dureza. Las terrajas, al igual que los machos, llevan tres o cuatro ranuras longitudinales que forman las aristas de corte y determinan las caras de desprendimiento. En la entrada llevan un destalonado para determinar los ángulos de incidencia. Como se visualiza en la figura 6.

**Figura 6** Terrajas de para roscar.



Fuente: [28]

### **Soldadora eléctrica.**

Herramienta eléctrica usada para realizar la unión de dos o más piezas por la generación de calor debido al arco eléctrico que se produce.

### **Amoladora angular**

Máquina eléctrica portátil de accionamiento eléctrico o por aire comprimido utilizada para cortar, desbastar y pulir, sobre variados materiales, mampostería y metal.

### **Compresor de aire**

Máquina que sirve para aumentar la presión en los gases para instrumentos o equipos neumáticos.

### **Entenalla.**

Herramienta que sirve para sujeción y fácil de manejo de piezas sometidas a diferentes operaciones mecánicas.

### **Experimentación con bomba engrane y flujo aceite (Módulo 1)**

Se describen las características de la instalación y los elementos a emplearse en la experimentación.

#### **Características de la instalación**

La bomba de engrane que se instalará es de marca TUTHILL 4312 de 1". La bomba posee un caudal nominal de 0,5 GPM. Los datos nominales se describen en la tabla 9.

**Tabla 9.** Datos nominales de la bomba.

<b>Modelo</b>	<b>Velocidad de rotación (rpm)</b>	<b>Presión máxima de descarga</b>	<b>Caudal de entrega (l/min)</b>	<b>Descarga teórica límite del caudal (l/min)</b>
4312	1200-1800		2,2730	2,182

**Fuente:** Autor

El motor a emplearse es de marca siemens de 2 Hp, el motor gira a 1125 rpm a 220 V. Los datos nominales se describen en la tabla 10.

**Tabla 10.** Datos nominales del motor

<b>Marca:</b> SIEMENS	<b>Voltaje:</b> 220/440 V	<b>Corriente:</b> 7,8/3,9A
<b>RPM:</b> 1100	<b>Cos <math>\beta</math>:</b> 0,77	<b>Frecuencia:</b> 60Hz
<b>Serial:</b> BG090L	<b>Ta:</b> -15/40°C	<b>IP55</b>

**Fuente:** Placa motor

### Selección de los elementos de protección para la bomba de engrane.

Para proteger el motor, debemos conocer la corriente a plena carga, esto con el fin de dimensionar correctamente los elementos de protección, a continuación se describe el cálculo de la corriente:

#### Cálculo de la corriente a plena carga:

$$I_{pc} = I_n \times 7,8 \text{ A} \quad \text{Dónde: } I_{nb} = \text{ corriente nominal de la bomba}$$

$$I_{pc} = 1,25 \times 7,8 \text{ A} \quad I_n = 1,25 \text{ Factor de seguridad del arranque de la bomba}$$

$$I_{pc} = 9,75 \text{ A} \quad I_{pc} = \text{ Corriente consumida a plena carga}$$

Una vez conocida la corriente a plena carga de 10 A. se selecciona el conductor AWG #16 tomando en cuenta los rangos de amperaje que puede soportar los cables AWG.

Para el circuito de mando de la bomba de uso un interruptor termomagnético de 10 A marca SIEMENS.

Este interruptor termomagnético nos ayuda a proteger el circuito de fuerza con el cual se controlara el accionamiento de la bomba. A continuación se puede observar en la figura 7.

**Figura 7.** Interruptor termomagnético.



Fuente: [29]

Se utiliza un Guarda motor con amperaje regulable de 11 a 16 Amperios marca AEG, a continuación se observa en la figura 8 y sus características técnicas se describen en la tabla 11.

**Figura 8** Guardamotor AEG regulable 11 – 16 A

Fuente: [30]

**Tabla 11.**Características técnicas del guardamotor.

Marca:	Modelo	Voltaje	Corriente
AEG	MBS 32 HG 160	220V – 240V	11A – 16 A

Fuente: [30]

También se usó un contactor marca SIEMENS 32<sup>a</sup> el cual cuenta con una bobina de 220 V a 50 – 60 Hz, el cual cierra sus contactos cuando se energiza su bobina, esto nos ayuda a controlar la marchas y el paro de la bomba, en la figura 9 se puede observar este contactor.

**Figura 9.** Contactor siemens 220V

Fuente: [29]

### Experimentación con bombas de torbellino y flujo agua (Módulo 2).

Las bombas de torbellino que se instalará son de marca Poalo y Leo sus potencias son de 0.5 Hp. Las características técnicas de las bombas se muestran en la tabla 12

**Tabla 12.** Datos nominales de las bombas

<b>Bomba 1</b>		
<b>Marca:</b> Poalo	<b>Voltaje:</b> 110/220 V	<b>Corriente:</b> 5/2.5A
<b>Potencia:</b> 0.37 kw	<b>Qmax:</b> 40 l/min	<b>Frecuencia:</b> 60Hz
<b>Bomba 2</b>		
<b>Marca:</b> Leo	<b>Voltaje:</b> 110/220 V	<b>Corriente:</b> 5/2.5A
<b>Potencia:</b> 0.37 kw	<b>Qmax:</b> 40 l/min	<b>Frecuencia:</b> 60Hz

Fuente: Placas bombas

Para la experimentación en la instalación se utilizará agua. Sus características de viscosidad se demuestran en la tabla 13.

**Tabla 13.** Propiedades del agua.

<b>AGUA</b>		
<b>Temp. C0</b>	<b>Densidad Relativa D kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Viscosidad cinemática μ m<sup>2</sup>/seg</b>
5	1,000	1,520
10	1,000	1,308
15	0,999	1,142
20	0,998	1,007
25	0,997	0,897
30	0,995	0,804
35	0,993	0,727
40	0,991	0,661
50	0,990	0,556
65	0,980	0,442

Fuente: Autor.

### Selección de los elementos de protección para las bombas de torbellino (Módulo 2).

Para proteger el motor, debemos conocer la corriente a plena carga, esto con el fin de dimensionar correctamente los elementos de protección, a continuación se describe el cálculo de la corriente:

#### Cálculo de la corriente a plena carga:

$$I_{pc} = I_n \times 4.2 \text{ A} \quad \text{Dónde: } I_{nb} = \text{corriente nominal de la bomba}$$

$$I_{pc} = 1.25 \times 4.2 \text{ A} \quad I_n = 5.25 \text{ Factor de seguridad del arranque de la bomba}$$

$$I_{pc} = 5.25 \text{ A} \quad I_{pc} = \text{Corriente consumida a plena carga}$$

Una vez conocida la corriente a plena carga de 6 A. se selecciona el conductor AWG #18 tomando en cuenta los rangos de amperaje que puede soportar los cables AWG. También se usó un contactor marca SIEMENS 32ª el cual cuenta con una bobina de 110 V a 50 – 60 Hz, el cual cierra sus contactos cuando se energiza su bobina, esto nos ayuda a controlar la marchas y el paro de la bomba, en la figura 10 se puede observar este contactor.

**Figura 10.** Contactor siemens 110 V



Fuente: [29]

Para el circuito de mando de la bomba de uso un interruptor termomagnético de 6 A marca SIEMENS. Este interruptor termomagnético nos ayuda a proteger el circuito de mando con el cual se controlara el accionamiento de la bomba. A continuación se puede observar en la figura 11.

**Figura 11.** Interruptor termomagnético.



Fuente: [29]

### **Pulsadores de marcha y paro.**

Para el accionamiento de la bomba se usó un pulsador marca SIEMENS normalmente cerrado, el cual es necesario para apagar la bomba, este abre el circuito de mando mediante un pulso. También se usó un pulsador marca SIEMENS normalmente abierto para el arranque, este cierra el circuito de mando mandando a activar la bomba.

### Paro de emergencia y luces indicadoras

Además se usó también un paro de emergencia tipo hongo, este se encuentra colocado en la parte superior del tablero de control, este cumple la función de deshabilitar momentáneamente el sistema, en el caso de que exista algún daño o anomalía en el tablero de control, evitando así que ocurran situaciones peligrosas que afecten la seguridad de las personas y del equipo.

Las luces indicadoras que se encuentran colocadas en el tablero de control, son de 220 V, marca Siemens, las cuales cumplen la función de dar a conocer al personal que opera el tablero, el estado de la bomba ya sea “MARCHA” cuando el sistema se encuentre en funcionamiento, o “PARO” cuando el sistema se encuentra deshabilitado.

### Automatización

Para la medida del caudal se utiliza un caudalímetro el mismo que está comprendido por un microcontrolador este se selecciona acorde a la necesidad requerida

#### Selección del Arduino

Para seleccionar el arduino, se define el número de entradas y salidas necesarias para el sistema de medición (caudalímetro), en este caso se necesitaron 1 salida digitales, 1 entradas analógicas, 2 salidas para la comunicación con la LCD y 2 pines para la entrada de voltaje DC, debido a estas necesidades se utilizó Arduino UNO por tener:

- Un poco número de entradas/salidas digitales.
- Un poco número de entradas analógicas.

A continuación se detalla las características técnicas de arduino UNO. En la tabla 15.

**Tabla 14.** Especificaciones técnicas del Arduino UNO.

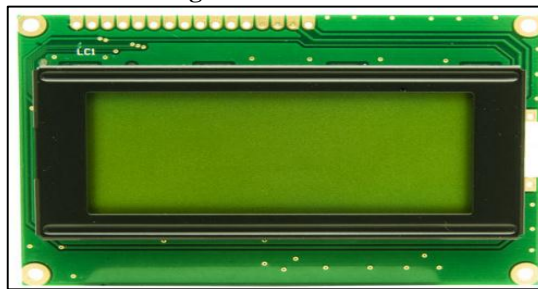
<b>Características del microcontrolador</b>	
<b>Microcontrolador</b>	ATmega329P
<b>Tensión de funcionamiento</b>	5V
<b>Voltaje de entrada (recomendado)</b>	7-12V
<b>Voltaje de entrada (límite)</b>	6-20V
<b>E / S digitales prendedores</b>	14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM)
<b>Pines de entrada analógica</b>	6
<b>Corriente continua para Pin I/O</b>	20 mA
<b>Corriente CC para Pin 3.3V</b>	60 mA
<b>Memoria flash</b>	32 KB, 0,5 KB utilizado por el gestor de arranque
<b>Memoria RAM</b>	2 KB
<b>Memoria EEPROM</b>	1 KB
<b>Velocidad de reloj</b>	16 MHz

Fuente: Fuente especificada no válida.

### **Pantalla LCD**

Se utilizó un panel LCD 16x2, como se visualiza en la figura 12, ya que es necesario visualizar la medidas de caudal al ingreso del fluido al lugar de almacenamiento. Los paneles LCD tienen diferentes tecnologías incluyendo modos de polarización positiva y negativa. Estos dispositivos ofrecen varias opciones en el formato de las fuentes de caracteres en las cuales se incluyen diferentes lenguas [20].

**Figura 12.** Panel LCD.



Fuente: [20].

### **Sensor de flujo de agua 1" FS400A**

Este sensor de flujo está construido de plástico sólido, de fácil instalación en un sistema de tuberías estándar (1"), este sensor se representa en la figura 13, mide el flujo del agua por medio de un rotor de agua interno que activa un sensor de efecto Hall, este envía pulsos por cada rotación. El sensor está aislado del agua y el rotor, de manera que siempre se mantiene seco y seguro [31]. El sensor tiene tres cables: rojo (vcc: 5-18VDC), negro (tierra) y amarillo (salida de pulsos del sensor de efecto Hall). Al contar los pulsos se puede medir fácilmente el volumen o caudal de salida del agua. Tenga en cuenta que este no es un sensor de precisión por lo que la orientación, presión del agua y otras condiciones pueden afectar la medición. Se recomienda calibrar el sensor realizando mediciones con volúmenes conocidos. Calibrado puede llegar a tener una precisión de hasta 10%

**Figura 13.** Sensor de flujo de agua



Fuente: [31]

### **Placa de baquelita**

Se realizó una placa en la cual ingresan los diferentes dispositivos como los diferentes pines de arduino.

Estas placas por lo general son de cobre, y se compone de dos caras, unas de ellas es un aislante que permite fundirla en ácido ferroso, el aislante separe las pistas de cobre las especificaciones técnicas se representa en la tabla 15.

Este material aislante puede ser silicona, fibra de vidrio, y algunos otros. El esquema de conexión se visualiza en el anexo 3

**Tabla 15.** Especificaciones técnicas de la placa de baquelita

<b>Placa de baquelita</b>			
Dimensiones: 10 cm X 12 cm	Número de caras: 1	Material: (PCB) Tarjeta de circuito impresa	Cara de cobre

Fuente: El autor

### **Implementación**

La instalación de los módulos didácticos se encuentran diseñados en un software CAD los cuales van a ayudar a tener una idea clara acerca de los materiales, accesorios equipos e instrumentos que van a ser necesarios para la instalación de los módulos didácticos.

Una vez adquirido todos los elementos anteriormente citados, se conectan como se indica en el Anexo 4.

#### **Circuito de fuerza y mando de la bomba engrane (Módulo 1)**

El circuito de fuerza y mando será diseñado para la protección de la bomba.

#### **Circuito de mando**

El circuito de Mando se realizó con un disyuntor magnético de 10 Amperios, este circuito está conformado por el estado, manual, en el cual arranca la bomba mediante un pulsador que alimenta la bobina y uno de cierre. El esquema de conexión se representa en el anexo 5

#### **Circuito de fuerza**

El circuito de fuerza para el arranque del motor está desarrollado mediante el uso de un variador de frecuencia de marca siemens el cual permite el control de velocidad del motor y

su protección es de un interruptor termomagnético de 10 A. El esquema se representa en el anexo 6

### **Circuito de fuerza y mando de las bombas de torbellino (Módulo 2)**

El circuito de fuerza y mando será diseñado para la protección de las bombas eléctricas.

#### **Circuito de fuerza**

El circuito de fuerza para el arranque de las bombas está desarrollado mediante el uso de contactores, las bombas consume como máximo 6 amperios, se tiene una línea de alimentación de 110 V monofásico. El esquema de conexión se representa en el anexo 7

#### **Circuito de mando**

El circuito de mando se realizó con dos interruptores termomagnéticos de 6 Amperios, este circuito está conformado por estado manual, en el cual arranca las bombas mediante un pulsador que alimenta la bobina y uno de cierre. El esquema de conexión se representa en el anexo 8

#### **Circuito electrónico interno**

Se usa un transformador de 110 VAC a 5 VDC, el cual nos permite alimentar al microcontrolador arduino. Una vez obtenido los equipos, materiales e instrumentos se procede con el esquema de conexión que se representa en el anexo 9.

#### **Desarrollo de la programación de arduino**

La programación en arduino consiste en traducir a líneas de código las tareas automatizadas que queremos crear en función de las condiciones necesarias. Para ello es necesario descargar el software oficial de Arduino IDE, este software es de código libre y de fácil manejo. Para lograr un mejor entendimiento de lo que se desea programar se desarrolla diagramas de procesos, con los cuales sabremos de qué manera se comportaran los diferentes actuadores y sensores con diferentes condiciones. El lenguaje de programación que maneja Arduino está establecido en C++, el cual es de suma importancia conocer los equipos para la sistematización del diseño, debido que muchos elementos intervinientes requieren de librerías para ser reconocidos en la programación. La programación se encuentra en el anexo 10.

#### **Tablero de control**

Los elementos que se encuentran dentro de los tableros se encuentran detallados a continuación:

### **Módulo 1**

El tablero de control utilizado tiene las siguientes medidas 25x25x20 cm. Todos los elementos de control, protecciones, accesorios, y circuitos de mando se están ubicados dentro del tablero distribuidos equitativamente y separados mediante el uso de riel y canaletas ranuradas, tomando en cuenta la separación del circuito de fuerza de los dispositivos electrónicos.

El tablero de control se encuentra dividido en 2 secciones en la sección izquierda se encuentra los equipos de fuerza como, interruptores termomagnéticos guarda motor y en la sección derecha se encuentran los dispositivos electrónicos como lo son el microcontrolador Arduino y la baquelita de elementos, los mismo que se encuentran en una caja miniatura para circuitos eléctricos

En la parte externa del tablero de control, se encuentra una pantalla LCD 16x2, con luces indicadoras, botones de marcha, paro de emergencia.

### **Módulo 2**

El tablero de control utilizado se encuentra en la mesa de trabajo exterior. Todos los elementos de control, protecciones, accesorios, y circuitos de mando se están ubicados en dicha mesa de trabajo distribuidos equitativamente y separados mediante el uso de riel y canaletas ranuradas, tomando en cuenta la separación del circuito de fuerza de los dispositivos electrónicos.

Tablero de control se encuentra dividido en dos secciones en la sección izquierda se encuentra los equipos de fuerza como, interruptores termomagnéticos, guarda motor, contactor, en la sección derecha se encuentran los dispositivos electrónicos como lo son el microcontrolador Arduino y la baquelita de elementos,

En la parte inferior derecha se encuentra una pantalla LCD 16x2, con luces indicadoras, botones de marcha y paro de emergencia.

## **11. DESARROLLO DE LA PROPUESTA, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

En este capítulo se da a conocer acerca de los resultados obtenidos en base a los experimentos analizados en los módulos didácticos.

### Análisis de aceite

Para determinar la viscosidad del aceite se lo realizado utilizando instrumentos de laboratorio los cuales ayudaron a obtener la viscosidad del aceite lubricante marca SAE. Sus características experimentales se muestran en la tabla 16. Datos medidos con un viscosímetro se visualiza en el anexo 11, los procedimientos para obtener dicho resultado se especifica en el anexo 13.

**Tabla 16.** Propiedades del aceite lubricante a utilizar en la pruebas experimentales

<b>Viscosidad absoluta del aceite usado</b>			
<b>mPa.s</b>	<b>kg/m.s</b>	<b>rev/min</b>	<b>°C</b>
48	0,048	60	21,3
48	0,048	100	21,3
41	0,041	60	20,6
40	0,040	100	20,6

Fuente: Autor

En base a valores obtenidos en laboratorio se puede reutilizar el aceite SAE

### Determinación de resultados

Para la obtención de resultados se emplearon los módulos didácticos para pérdidas de carga en tubería y curvas características de bombas de torbellino

### Datos prácticos de la bomba de engrane y fluido aceite

Los datos prácticos fueron tomados en funcionamiento de los módulos didácticos estos fueron realizados por 3 ocasiones, se detalla en el anexo 12. Los cuales se realiza un promedio y se la demuestra en la tabla 17

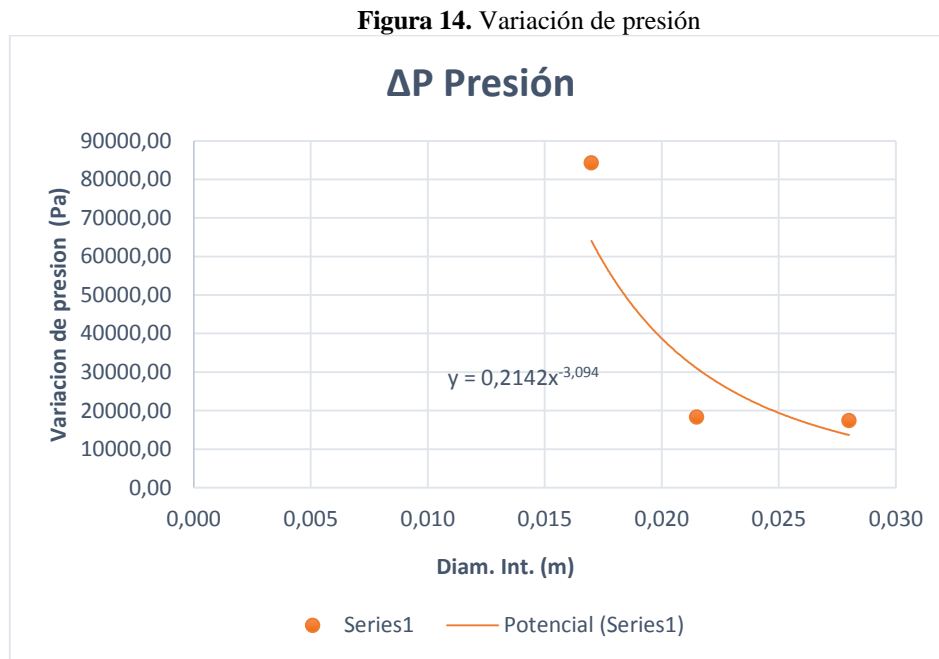
**Tabla 17.** Comportamiento de la caída de presión en las tuberías

<b>CURVAS EXPERIMENTALES</b>												
<b>Diam. tubería</b>	<b><math>\eta</math> (rpm)</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>V (m/s)</b>	<b>Diam. Int. (m)</b>	<b>P1 (Pa)</b>	<b>P2 (Pa)</b>	<b><math>\Delta P</math> (Pa)</b>	<b><math>\lambda</math></b>	<b>Re</b>	<b><math>\Delta h</math> (m)</b>	<b><math>\gamma</math> (s<sup>-1</sup>)</b>	<b><math>\tau</math> (Pa)</b>
1"	1100	0,0003	0,46	0,028	105719,65	88252,93	17466,73	2,689	230,57	2,0728	131,47	61,13
3/4"	1100	0,0003	0,78	0,022	114912,67	96526,64	18386,03	0,756	300,28	2,1819	290,39	0,12
1/2"	1100	0,0003	1,25	0,017	179263,76	94917,86	84345,90	1,071	379,76	10,009	587,42	7468,13

Fuente: El autor

En la figura 14 se demuestra el comportamiento de la caída de presión en las diferentes tuberías. es decir que a menor diámetro de la tubería mayor será la pérdida de presión.

Comprobando lo que manifiesta la teoría; mayor diámetro menor velocidad y más presión, menor diámetro mayor velocidad y menor presión.

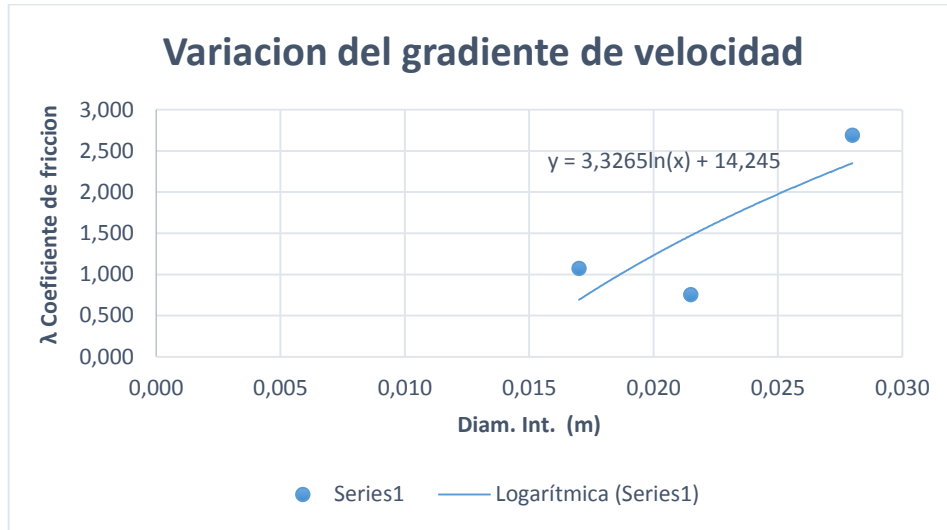


**Fuente:** El autor

$$\Delta P = 0.2142D^{-3.094}$$

El gradiente de la velocidad cambia al variar el diámetro de la tubería ocasionando variación del coeficiente de rozamiento. La velocidad del fluido es inversamente proporcional al diámetro de la tubería lo cual se observa en la figura 15.

**Figura 15.** Variación del gradiente de velocidad.

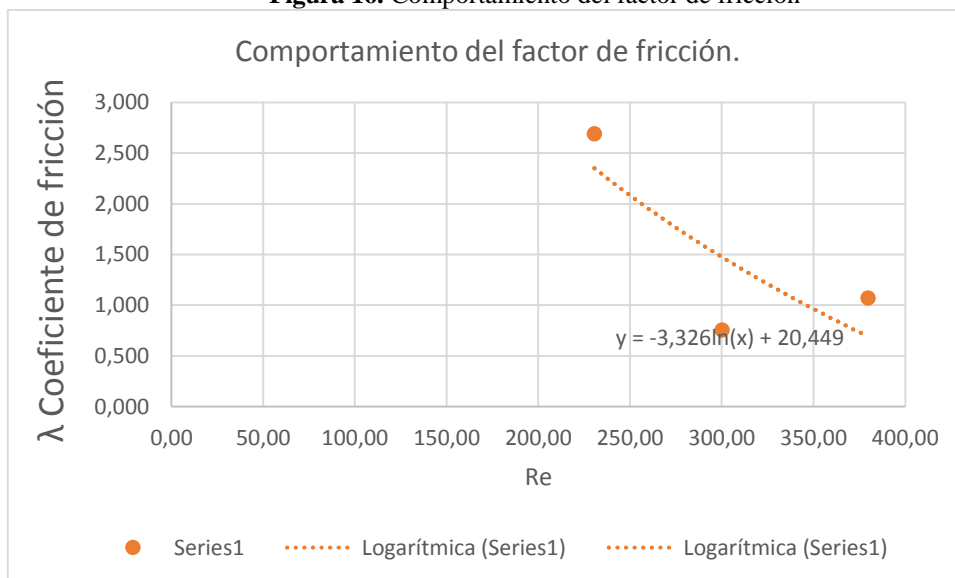


Fuente: El autor

$$\Delta P = 3.3265 \ln(x) + 14.245$$

Ya determinadas las curvas de flujo a partir del factor de fricción ( $\lambda$ ) en el rango del número de Reynolds (Re), se obtiene el gráfico que se muestra en la figura 16 donde se plantea la relación del factor de fricción en la tubería.

**Figura 16.** Comportamiento del factor de fricción



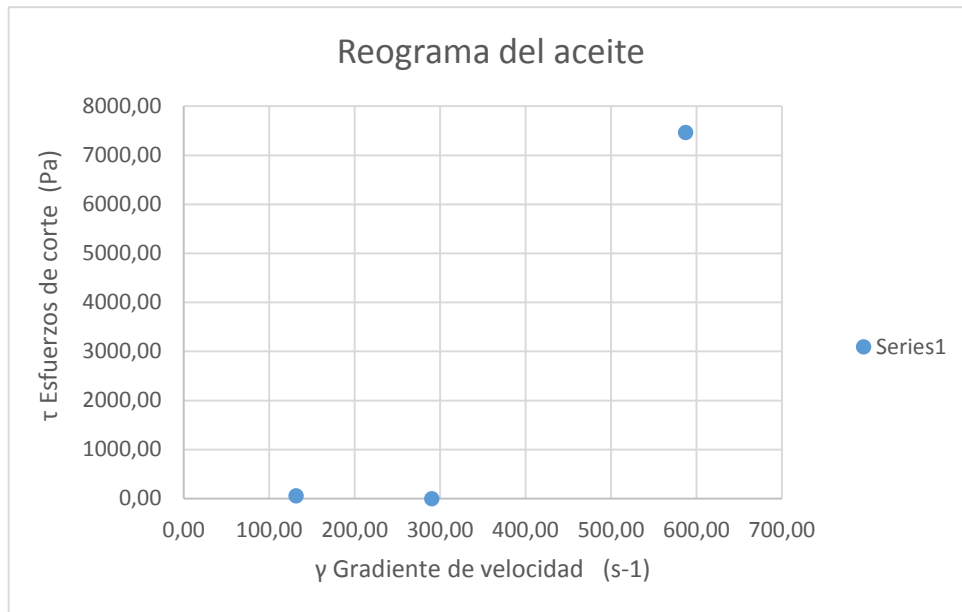
Fuente: El autor

$$\lambda = 3.326 \ln(x) + 20.449$$

### Resultados del comportamiento reológico del aceite

Se obtienen las curvas de flujo a partir de los esfuerzos de corte ( $\tau$ ) y los gradientes de velocidad ( $\dot{\gamma}$ ), los resultados se muestran en la figura 17, donde se obtiene el comportamiento reológico del aceite, ajustándose este a un comportamiento newtoniano.

Figura 17. Reograma del aceite.



Fuente: El autor

$$\Delta P = 0.2142D^{-3.094}$$

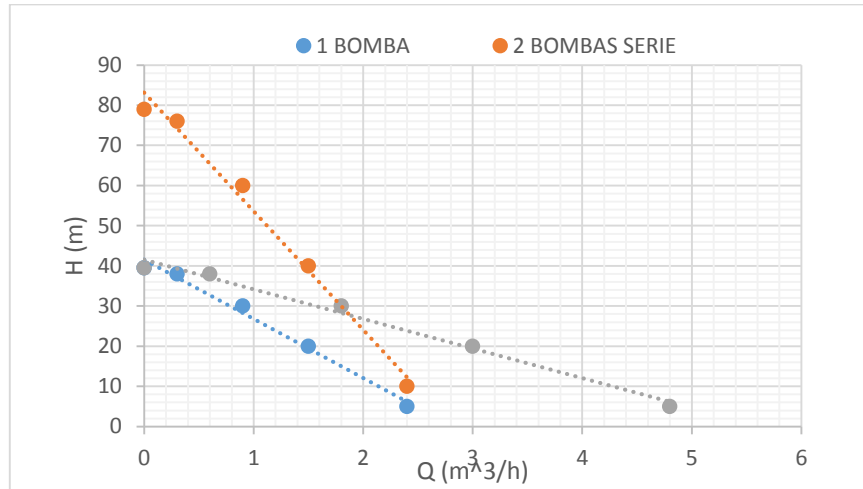
### Datos prácticos de las bombas de torbellino y fluido agua

El módulo experimental construido ayudara para la experimentación e investigación de la eficiencia que se obtiene al acoplar bombas en serie o paralelo, que será realizado por docentes y alumnos de nuestra la universidad, ayudando a mejorar nivel académico de nuestros estudiantes. Después de realizar las prácticas y obtener los datos se determina de la curva característica de una bomba aislada, seguidamente del sistema de bombas en serie y finalmente en conexión en paralelo.

### Datos obtenidos del módulo didáctico

En base a datos tomados experimentalmente se puede comprobar que si se conectan las bombas en serie aumenta su altura de elevación y si las bombas se conectan en paralelo el aumenta el caudal de entrega. Como se puede visualizar en la figura 18.

**Figura 18.** Conexión serie - paralelo



Fuente: El autor

$$\Delta P = 0.2142D^{-3.094}$$

## 12. IMPACTOS

En este capítulo se detalla los costos en los cuales se va a recuperar la inversión y se analizara en 5 años el valor de ganancias con respecto a prácticas realizadas en otros lugares de la provincia o país. Se detalla en las tablas 18, 19 y 20

### Impacto económico

**Tabla 18.** Costos de prácticas de acuerdo a 5 años.

	1er año	2do. Año	3ero. Año	4to. Año	5to. Año
Numero de practicas	60	70	80	90	100
<b>TOTAL (\$)</b>	<b>12.000,00</b>	<b>14.000,00</b>	<b>16.000,00</b>	<b>18.000,00</b>	<b>20.000,00</b>

Fuente: El autor

El costo por las prácticas tiene un valor de \$200

**Tabla 19.** Flujo de caja de las prácticas en 5 años.

		1er. Año	2do año	3er. Año	4to año	5to año
<b>NUMERO DE PRUEBAS</b>		<b>12.000,00</b>	<b>14.000,00</b>	<b>16.000,00</b>	<b>18.000,00</b>	<b>20.000,00</b>
<b>Especificación de prueba</b>						
Probetas	10	600,00	714,00	824,00	936,00	1.050,00
Materiales de laboratorio	20	1.200,00	1.428,00	1.632,00	1.836,00	2.040,00
<b>TOTAL COSTOS PRODUCCIÓN</b>		<b>1.800,00</b>	<b>2.142,00</b>	<b>2.456,00</b>	<b>2.772,00</b>	<b>3.090,00</b>
<b>MARGEN BRUTO</b>		<b>10.200,00</b>	<b>11.858,00</b>	<b>13.544,00</b>	<b>15.228,00</b>	<b>16.910,00</b>
Transporte	100	6000	7140	8160	9180	10200
<b>TOTAL GASTOS GENERALES</b>		<b>6.000,00</b>	<b>7.140,00</b>	<b>8.160,00</b>	<b>9.180,00</b>	<b>10.200,00</b>
<b>MARGEN NETO</b>		<b>4.200,00</b>	<b>4.718,00</b>	<b>5.384,00</b>	<b>6.048,00</b>	<b>6.710,00</b>

Fuente: El autor

**Tabla 20.** Estimación de la tasa de retorno y el valor actual neto

<b>TIR</b>	51%
<b>VAN</b>	\$18.994,43

Fuente: El autor

De acuerdo a los valores obtenidos se describe que desde el primer año tenemos ganancias de \$ 4200 con el cual se recupera el valor de los módulos didácticos en el primer año Efectivamente el valor actual neto es mayor a cero y equivale a \$ \$18994.43 mientras la tasa interna de retorno se ubica en un 51 % para el periodo de estimación.

### **Impacto ambiental**

Los impactos ambientales es de suma importancia, pues en los módulos didácticas al paso del tiempo estos pueden presentar fallas que producen derrames de lubricante, lo cual se describe los posibles impactos que pueden afectar al medio ambiente. Se define en la tabla 21

**Tabla 21.** Identificación de los impactos ambientales asociados.

<b>Acciones o actividades</b>	<b>Factores ambientales</b>	<b>Impactos ambientales</b>
Derrame de mercurio	Suelo	Degradación del suelo
Derrame de mercurio	Aire	Disminución de la calidad del aire
Derrame de mercurio	Hombre	Aumento de enfermedades cancerígenas
Derrame de lubricante	Suelo	Degradación del suelo
Ruido	Hombre	Aumento de enfermedades de audición

Fuente: El autor

Las afectaciones que se describe anteriormente producen efectos indirectos y negativos como incremento de la presión sanguínea, la aceleración del ritmo sanguíneo, la contracción de los capilares de la piel y la disminución en la capacidad de trabajo físico y mental del hombre, expuestos también a enfermedades respiratorias.

### **13. PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN.**

El análisis de costos es parte fundamental previo a la realización de un proyecto. En las tablas siguientes se detallan cada uno de los elementos que intervendrán directa o indirectamente en la fabricación de los módulos, materiales, mano de obra, costos de ingeniería, transporte, pintura, soldadura entre otros.

Tabla 22. Presupuesto general de módulos

<b>PRESUPUESTO GENERAL</b>					
	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>V. Unitario \$</b>	<b>Valor Total \$</b>
<b>PRESUPUESTO MÓDULO 1</b>	Base	1	M	50,40	50,40
	Sistema de tuberías	1	M	833,97	833,97
	Sistema de medición	1	M	115,52	115,52
	Tablero de mando	1	M	98,00	98,00
	Pintura	1	M	46,00	46,00
	Mano de obra	1	M	225,00	225,00
	Transporte	1	M	162,50	162,50
	Costos de ingeniería	1	M	500,00	500,00
	Imprevistos				
<b>Subtotal:</b>					<b>2234,529</b>
<b>PRESUPUESTO MÓDULO 2</b>	Base	1	M	33,10	33,1
	Sistema de tuberías	1	M	539,69	539,69
	Sistema de medición	1	M	115,52	115,52
	Tablero de mando	1	M	98,00	98,00
	Pintura	1	M	31,00	31,00
	Mano de obra	1	M	100,00	100,00
	Transporte	1	M	52,50	52,50
	Costos de ingeniería	1	M	250,00	250,00
	Imprevistos				
<b>Subtotal:</b>					<b>1340,991</b>
<b>Total:</b>					<b>\$ 3372,381</b>

Fuente: Autor

El costo total de las dos instalaciones siendo **\$3372,381**. Cabe recalcar que por tratarse de un proyecto académico enfocado en la repotenciación de los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi, la misma proporcionara un número limitado de elementos para la construcción, cuyo valor asciende a **\$ 2000,90**; entonces el valor total real para la implementación de los módulos didácticos y experimentales será **\$ 1371,481**

## 14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones.

- Se determinaron los coeficientes de pérdidas locales (válvula y codo) donde se obtuvo una relación del 95% entre los resultados experimentales y los coeficientes planteados por diferentes autores.
- Se obtuvieron las curvas de comportamiento de caída de presión en las diferentes diámetros de tubería, es decir que a menor diámetro de la tubería mayor será la pérdida de presión comprobando lo que manifiesta la teoría; mayor diámetro menor velocidad y más presión, menor diámetro mayor velocidad y menor presión.
- Se obtuvieron las curvas de comportamiento donde el gradiente de la velocidad cambia al variar el diámetro de la tubería ocasionando variación del coeficiente de rozamiento, la velocidad del fluido es inversamente proporcional al diámetro de la tubería.
- Mediante la experimentación se demuestra el comportamiento de las bombas conectadas, al realizar una conexión en serie aumenta su altura de elevación y si las bombas se conectan en paralelo el aumenta el caudal de entrega
- Se obtiene el comportamiento de la altura neta positiva de succión disponible y su comparación con la requerida, mostrándose que para valores mayores de 5 (m<sup>3</sup>/h) de flujo volumétrico la bomba entra en el período de cavitación
- La vida útil de la tarjeta Arduino depende de la veces que se escriba y suprima la memoria flash del microcontrolador ATMEGA2560, este procesador cuenta con un ciclo de 10000 veces para cargar los programas que se desee ejecutar.

### Recomendaciones

- Colocar un variador de frecuencia para variar el número de rpm del motor y obtener mejores resultados en las diferentes experimentaciones el módulo didáctico de pérdidas de carga.
- Se deben tomar datos al realizar las experimentaciones en los módulos al menos tres veces y trabajar con el promedio para garantizar los resultados experimentales.
- Se recomienda cebar completamente las bombas de torbellino antes de realizar una experimentación, en caso que no hacerlo los datos obtenidos durante la práctica serán erróneos.

- Al realizar experimentaciones en módulo didáctico (2), se recomienda arrancar con las válvulas de descarga abiertas el 50%, así no existirán pérdidas de presión y se obtendrán mejores mediciones.
- Si al encender los módulos didácticos en la pantalla LCD no se divisa la leyenda “CAUDALIMETRO) se recomienda reiniciar la tarjeta arduino.
- Realizar limpiezas mensuales en el interior del tablero principal para evitar que se acumulen partículas de polvo e impurezas que puedan dañar las conexiones o contactos de la tarjeta arduino y la pantalla LCD

## 15. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] M. Bandala , R. Macedo , J. Ramírez y J. Vélez, «Evaluación de Coeficientes de Fricción en el Transporte de Fluidos NoNewtonianos,» *La Serena*, vol. 16, nº 2, pp. 73-78, 2005.
- [2] N. Ávila, C. Becerra, Y. Mustafá y J. Sanz , «Pérdidas de presión en el transporte hidráulico de café por tubería Pvc de 88 mm,» nº 34, 2007.
- [3] M. Serrano, *Habilitación de banco de pruebas para determinar pérdidas en tubería, de la Escuela e Ingeniería Mecánica*, San Salvador, 2008.
- [4] F. Alba , R. Fidalgo, C. Guevara y M. Sánchez, «Modelo biparamétrico de caracterización de accesorios para redes hidráulicas,» *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, vol. 12, nº 02, pp. 35-43, 10 Febrero 2008.
- [5] J. Calderón y C. Pozo, *Diseño y construcción de un banco de pruebas para pérdidas de carga en tuberías y accesorios con simulación*, Quito, 2011.
- [6] D. Borja, *Diseño y construcción de un sistema de tuberías en paralelo para la medición de constantes de accesorios*, vol. 1, Riobamba, 2012.
- [7] R. Mejía, *Diseño de un equipo para realizar practicas de determinacion de pérdidas ficticias y localizadas para el laboratorio de Mecánica de Fluidos*, vol. 1, Quito, 2014.
- [8] E. Farsirotou, D. Kasiteropoulou y D. Stamatopoulou, «Investigación experimental del flujo de fluidos en sistemas de tuberías horizontales de geometrías de sección transversal,» *EDP Sciences*, vol. 67, nº 02026, 2014.
- [9] L. López y M. Yopez, *Diseño e implementación de un laboratorio virtual para medir caída de presión y obtener datos en tiempo real usando Labview y visual Basic para mecánica de fluidos.*, Riobamba, Chimborazo, 2015.
- [10] F. Ntengwe, M. Chikwa y L. Witika, «Evaluación de las pérdidas por fricción en tuberías y accesorios de plantas de ingeniería de procesos,» *REVISTA INTERNACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS*, pp. 330-336, 10 Octubre 2015.
- [11] I. Martín , R. Salcedo y R. Font, *MECÁNICA DE FLUIDOS*, 1 ed., California, 2011, p. 64.
- [12] A. Martín Domingo, *Apuntes de Mecánica de Fluidos*, Madrid, 2011, p. 101.

- [13] Daily & Harleman, Dinámica de los Fluidos, Mexico: Trillas, 1975.
- [14] Donald & Bruce, A Brief Introduction to Fluid Mechanics, Estados Unidos: Copyright, 2011.
- [15] CRANE, Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías, Mexico: McGraw-Hill, 1987.
- [16] R. L. Moot, Mecánica de Fluidos, 6 ed., D. Yamell, Ed., Mexico: Pearson Educacion de Mexico, S.A- de C.V., 2006, p. 644.
- [17] C. Mataix, Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas, Madrid: Ediciones del Castillo S.A., 1993.
- [18] TOYO PUMPS, «TOYO PUMPS,» 18 Mayo 2017. [En línea]. Available: [www.toyopumps.com](http://www.toyopumps.com).
- [19] GENE BRE S.A., «GENE BRE be water, be Genebre,» 17 Mayo 2017. [En línea]. Available: [http://www.genebre.es/manometro-dorsal-o53#\\_](http://www.genebre.es/manometro-dorsal-o53#_).
- [20] «Carrod Electrónica,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.carrod.mx/products/modulo-de-reles-4-canales-5-v-con-optoacoplador-generico>.
- [21] I. Lorenzo, «Cuatro alternativas a Arduino: BeagleBone, Raspberry Pi, Nanode y Wasp mote,» 9 Enero 2013. [En línea]. Available: <http://www.blogthinkbig.com>. [Último acceso: 18 Mayo 2017].
- [22] NOVACERO, «Catalogo de productos Laminados, Tubos y Perfiles,» 15 Mayo 2017. [En línea]. Available: <http://www.novacero.com>.
- [23] PLASTIGAMA, Tuberías y Accesorios de PVC y PE BD, Durán: Mexichem Ecuador S.A., 2015.
- [24] AGA, Catálogo de electrodos comunes, especializados & Gases para corte y soldadura, Quito, 2003.
- [25] INDURA S.A., Industria y Comercio, Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura, Chile: Ograma, 2007.
- [26] Kobelco, El ABC de la soldadura por arco, Estados Unidos, 2004.
- [27] HEMPEL, Directrices para la protección anticorrosiva del acero y superficies metálicas con recubrimientos según la Norma ISO 12944, Barcelona, 2012.
- [28] Gobierno del Principado de Asturias, Roscado, Asturias, 2008.
- [29] Siemens, «Catalogo general de productos,» 2015. [En línea]. Available: [https://www.industry.siemens.com/home/aan/es/argentina/Documents/CatalogoProductosSiemens\\_MAY](https://www.industry.siemens.com/home/aan/es/argentina/Documents/CatalogoProductosSiemens_MAY)

2015.pdf.

- [30] Eecontrols, «AEG combination controls,» 2015. [En línea]. Available: [http://automation-dfw.com/pdf\\_elec/aeg-03combstarterseriesmbs32-63.pdf](http://automation-dfw.com/pdf_elec/aeg-03combstarterseriesmbs32-63.pdf).
- [31] M. Mechatronics, *Maylamp*, 2018.
- [32] A. Gil, «Guia de manejo de la Resina de poliester,» Univeridad EAFIT, Colombia, 2012.
- [33] F. Alba, R. Fidalgo, C. Guevara y M. Sánchez , «Reduccion de pérdidas de energía en accesorios hidráulicos mediante nuevos diseños fluidodinámicos,» *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, vol. 12, nº 02, pp. 45-54, 20 Diciembre 2008.
- [34] R. Gilles, *Mecánica de fluidos e Hidráulica*, McGrawHill, 1989.
- [35] M. Grundfos, « Mark Grundfos bomba centrífuga,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.conauto.com.ec/index.php/mark-grundfos-bomba-centrifuga-df7/>.
- [36] S. Toledo, «Diseño hidraulico,» 2012.

# ANEXOS

Anexo 1.- Equipo de trabajo.

## **GUILCAMAIGUA GUAMUSHIG CÉSAR AUGUSTO**

**Cargo actual: Steel Detailer**

**CONSORCIO SERVINPET**

**Fecha de ingreso: 16/08/2017**



### **DATOS PERSONALES:**

**Dirección: Latacunga, Santan, calle S/N. E-mail: cesar161861@hotmail.com**

**Telf.: 0998623318/0987468905**

**Fecha de nacimiento: 16/06/1993**

**No. De cedula: 0503958605**

**Nacionalidad: Ecuatoriana**

**Estado civil: Soltero**

---

### **FORMACIÓN ACADÉMICA**

<b>Año 2011</b>	<b>INSTITUCIÓN: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>	<b>Ciudad</b>
	<b>Título: INGENIERO ELECTROMECAÁNICO (Continua)</b>	<b>Latacunga</b>

### **IDIOMAS**

**(Indicar el porcentaje de conocimientos del idioma)**

#### **INGLES:**

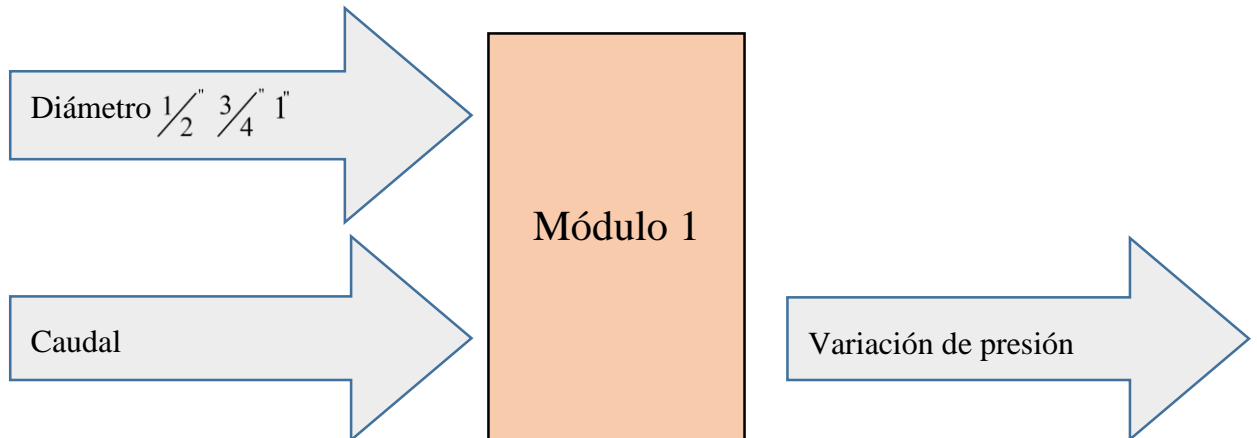
<b>Escritura</b>	<b>60</b>
<b>Lectura</b>	<b>60</b>
<b>Comprensión</b>	<b>40</b>
<b>Conversación</b>	<b>30</b>



---


### **CAPACITACIONES**

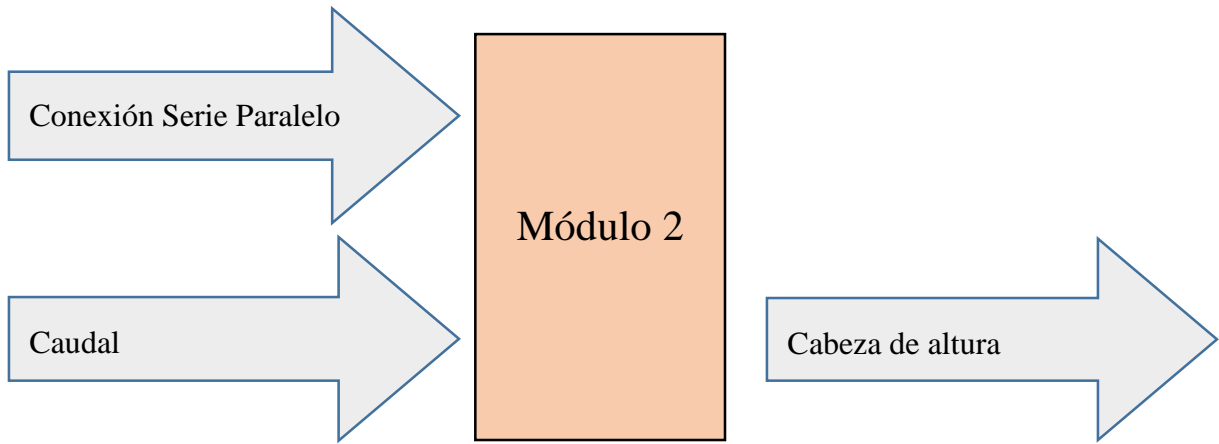
<b>Agosto 2018</b>	<b>Interpretación de planos arquitectónicos y estructurales</b>	<b>(45 Horas)</b>
<b>Febrero 2018</b>	<b>Comunicación, Redacción Institucional y Ortografía</b>	<b>(32 Horas)</b>
<b>Septiembre 2017</b>	<b>Detallado y Despiece BIM con Tekla Structures</b>	<b>(40 Horas)</b>

**Anexo 2.- Variables**



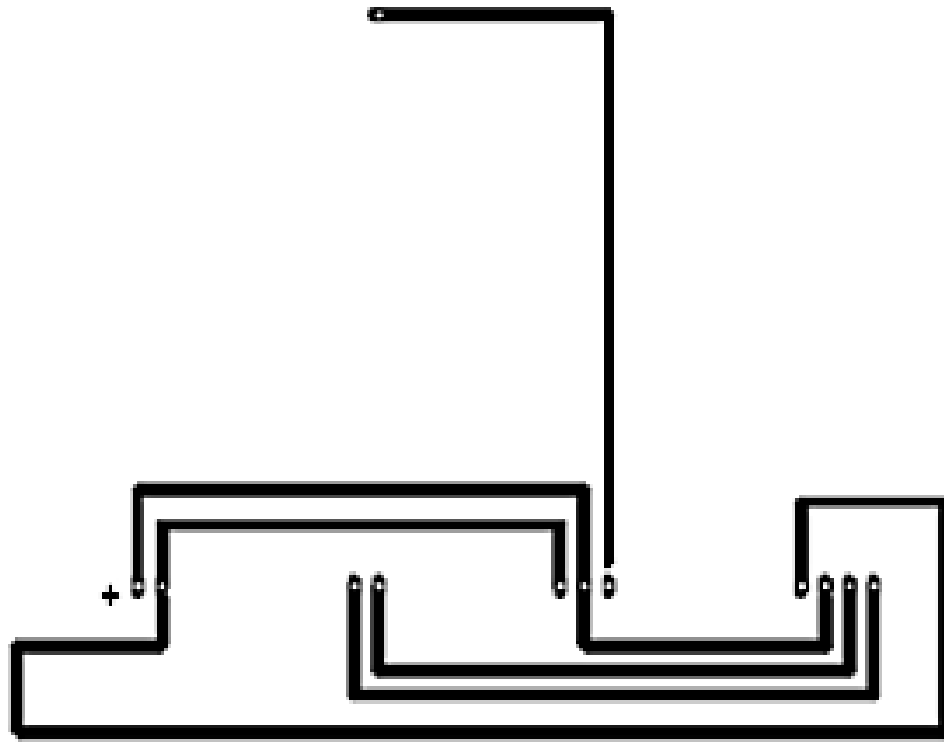
Variable Independiente	Concepto	Unidad	Instrumento	Imagen
Diámetro	Diámetro es el segmento de una recta que pasa por el centro y une dos puntos opuestos de una circunferencia	( <i>m</i> )	Calibrador	
Caudal	Caudal es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto por unidad de tiempo.	( <i>m<sup>3</sup>/s</i> )	Caudalímetro	

Variable Dependiente	Concepto	Unidad	Instrumento	Imagen
Variación de presión	Es la fuerza por unidad de superficie que ejerce el aire que forma la atmósfera sobre la superficie terrestre.	( <i>Pa</i> )	Manómetros	



Variable Independiente	Concepto	Unidad	Instrumento	Imagen
Conexión Serie Paralelo	<p><b>Serie:</b> se puede lograr una mayor altura de elevación, manteniendo constante el caudal</p> <p><b>Paralelo:</b> Se puede lograr aumentar el caudal de entrega.</p>		Sentido del flujo (Cierre de válvulas)	
Caudal	Caudal es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto por unidad de tiempo.	$(m^3/s)$	Caudalímetro	

Variable Dependiente	Concepto	Unidad	Instrumento	Imagen
Cabeza de altura	La determinación de la altura o columna de bombeo se da por la suma de la elevación o cabeza dinámica de succión y de la columna o cabeza dinámica de descarga..	$(m)$	Flexómetro	



PLACA ELECTRÓNICA

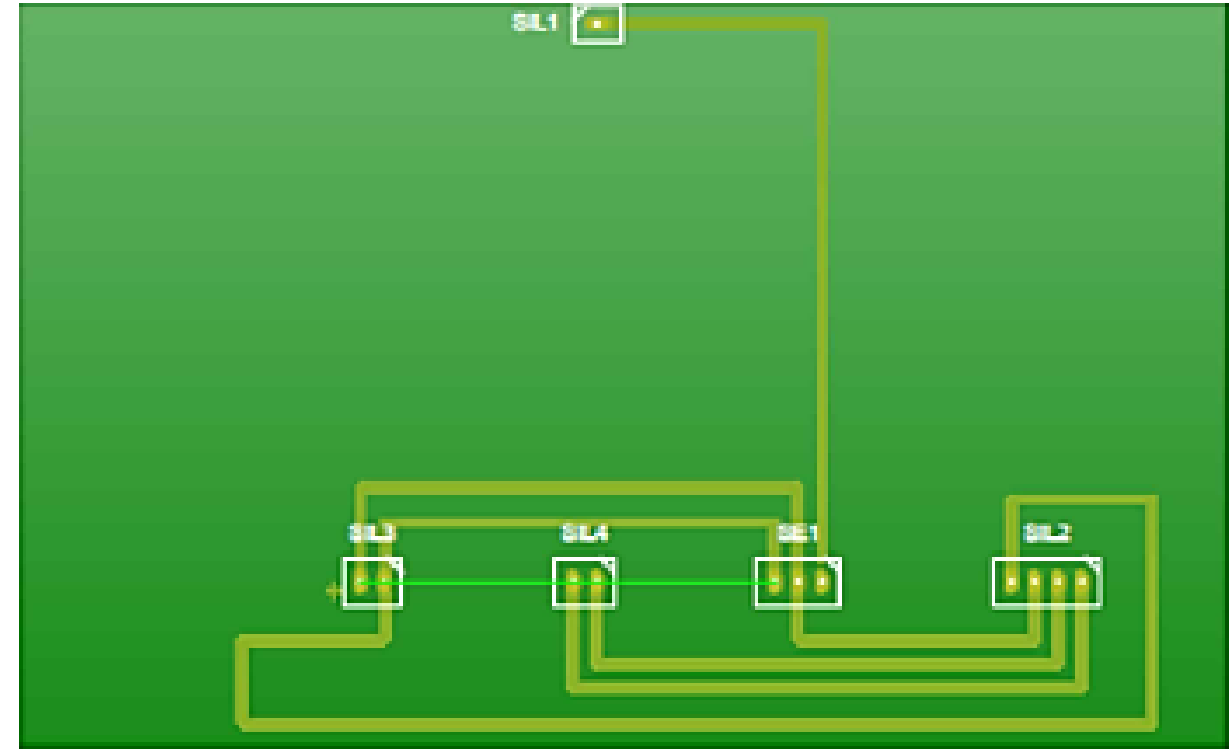


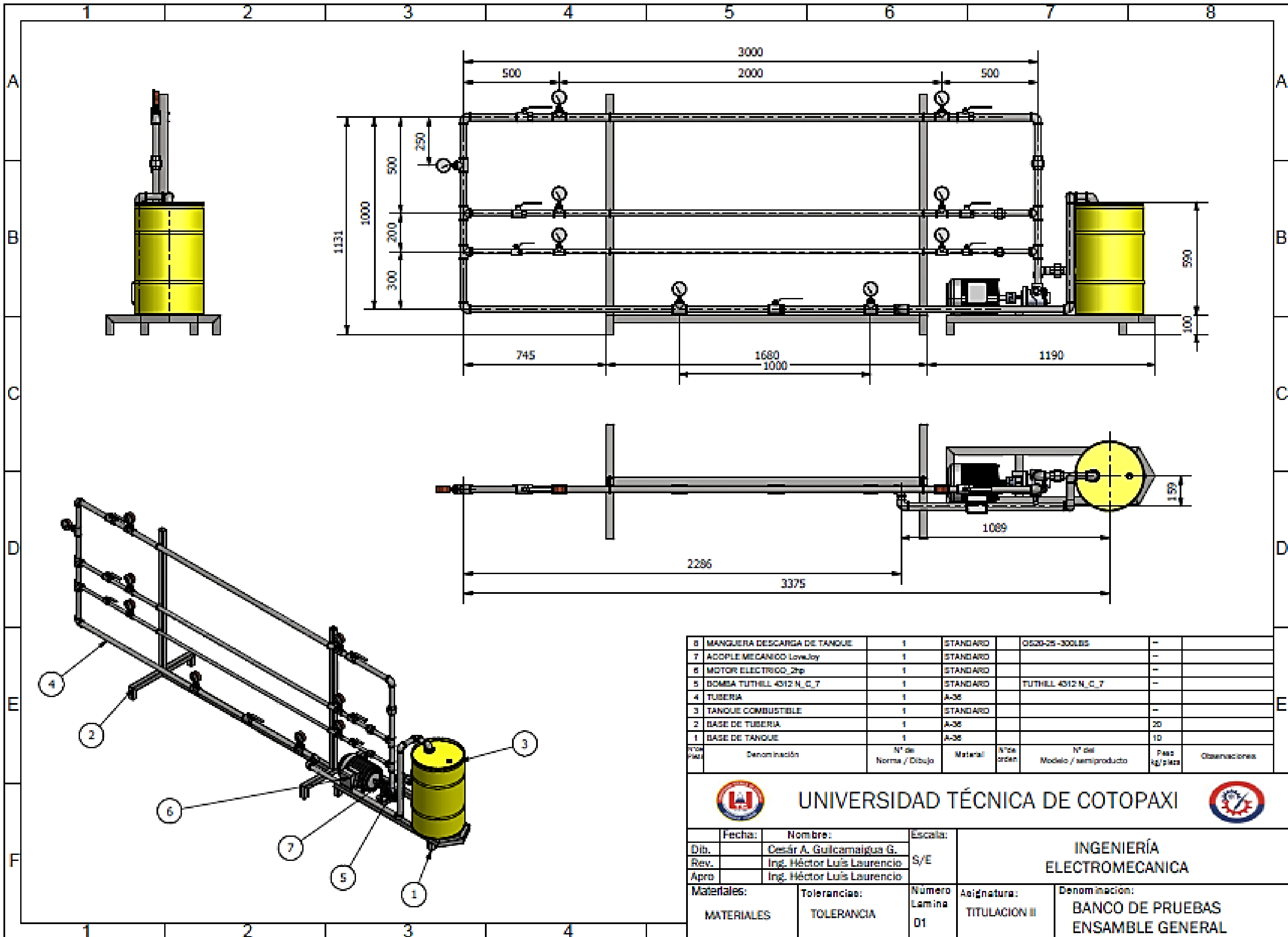


DIAGRAMA DE ELEMENTOS

Nº de pieza	Denominación	Nº de Norma / Dibujo	Material	Nº de orden	Nº del Modelo / semiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b> 							
	Fecha:	Nombre:	Escala:		<b>INGENIERÍA ELECTROMECHANICA</b>		
Dib.		Cesar A. Guilcamaigua C.	8/E				
Rev.		Ing. Hector Luis Laurencio					
Apro		Ing. Hector Luis Laurencio					
Materiales:		Tolerancias:	Número Lamina	Asignatura:	Denominación:		
MATERIALES		TOLERANCIA	0	TITULACION II	CIRCUITO PLACA ELECTRÓNICA DIAGRAMA DE ELEMENTOS		

# **Anexo 4.- Planos de ensamble.**



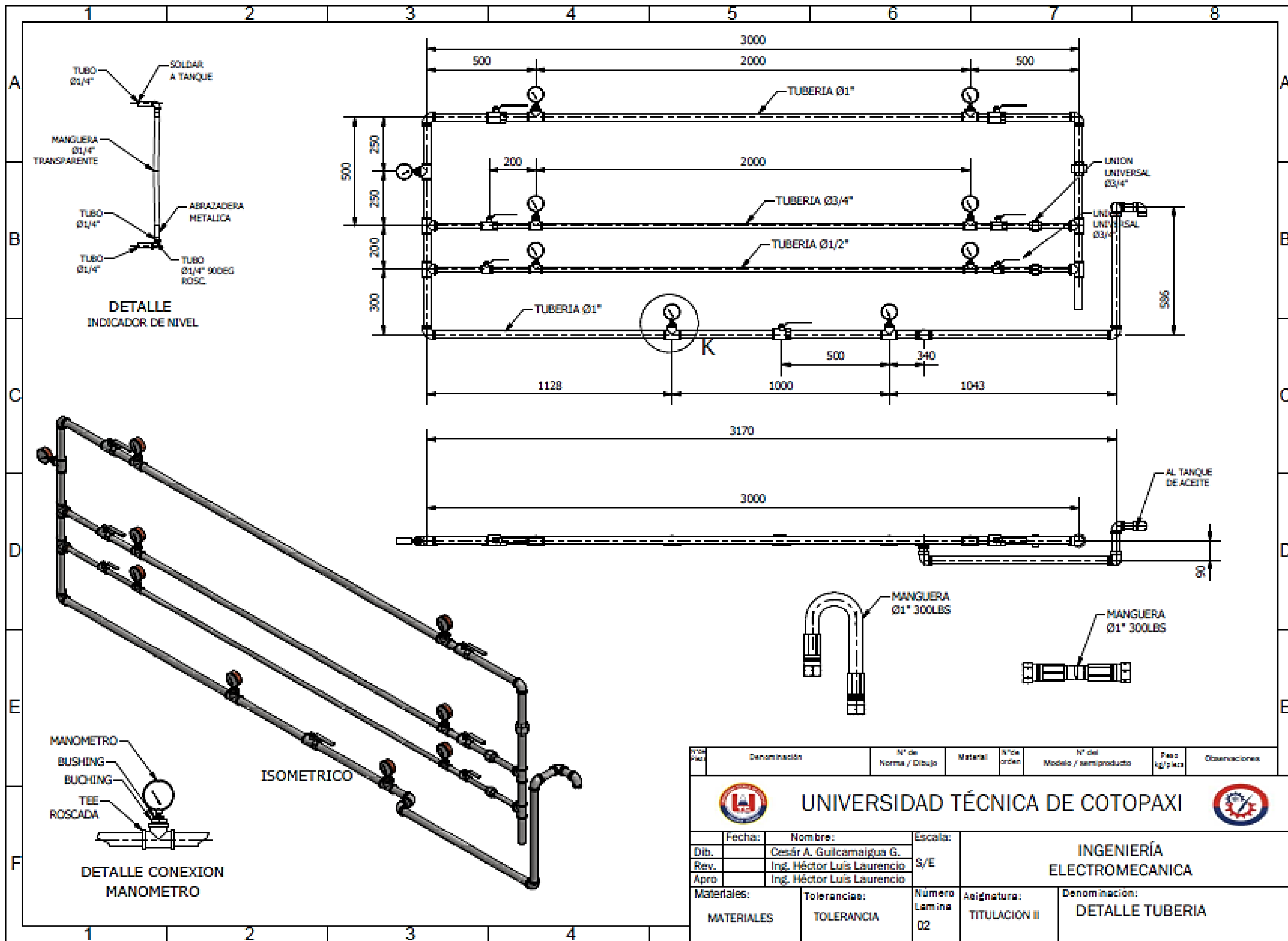
8	MANGUERA DESCARGA DE TANQUE	1	STANDARD	Q520-25-300LBS	-		
7	ADOPLE MECANICO LoveJoy	1	STANDARD		-		
6	MOTOR ELECTRICO 2hp	1	STANDARD		-		
5	BOMBA TUTHILL 4312 H, C, 7	1	STANDARD	TUTHILL 4312 H, C, 7	-		
4	TUBERIA	1	A-36				
3	TANQUE COMBUSTIBLE	1	STANDARD		-		
2	BASE DE TUBERIA	1	A-36		20		
1	BASE DE TANQUE	1	A-36		10		
Nº de Pieza	Denominación	Nº de Norma / Dibujo	Material	Nº de orden	Nº del Modelo / semiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones





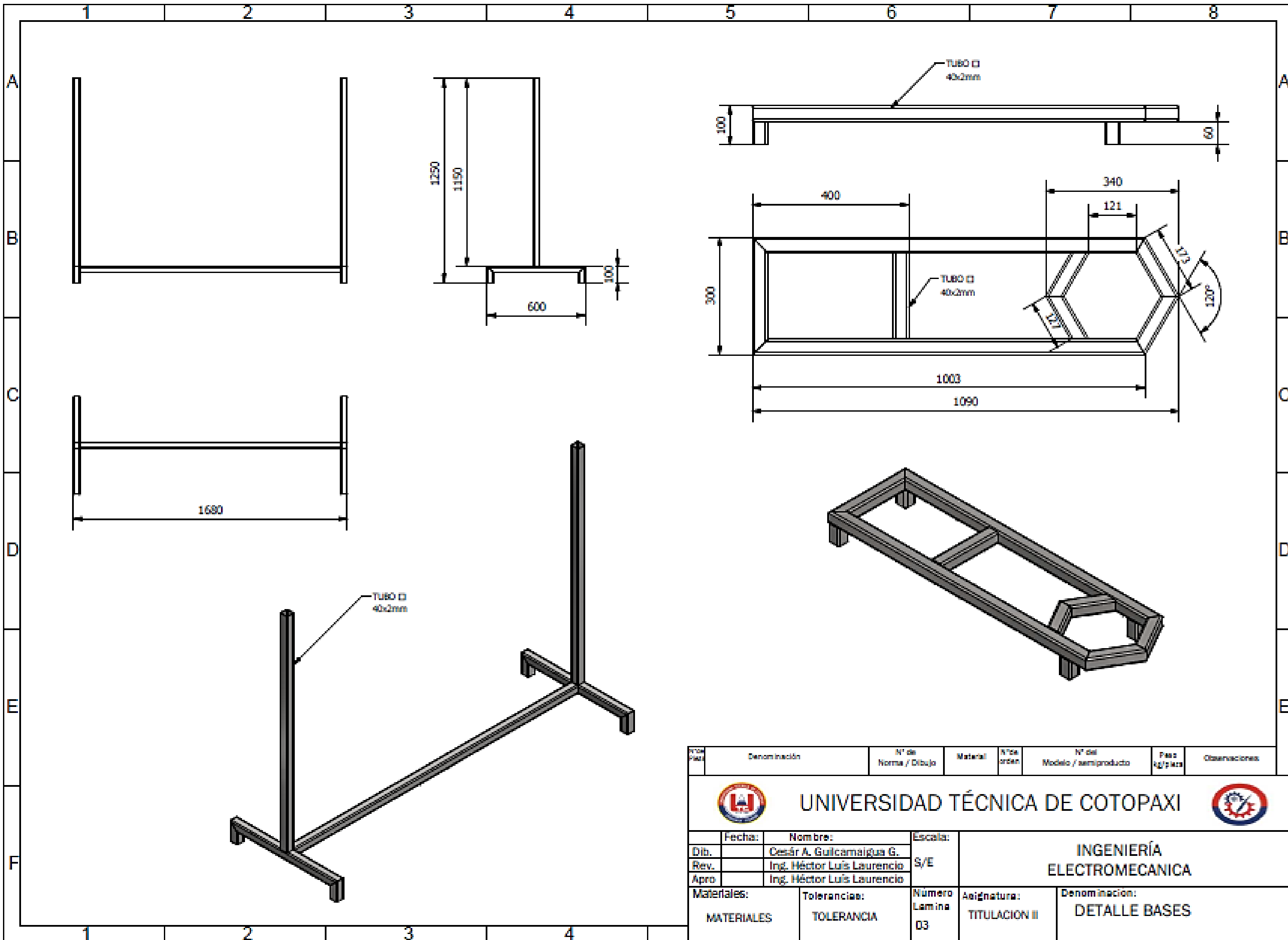
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI





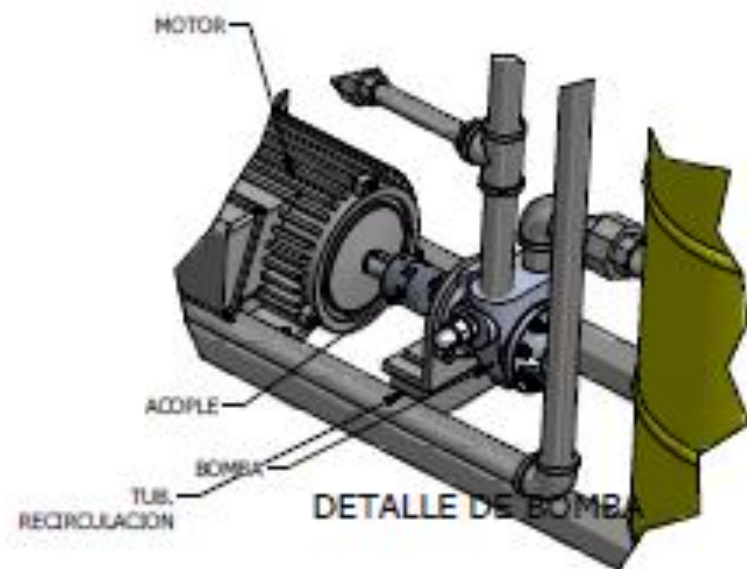
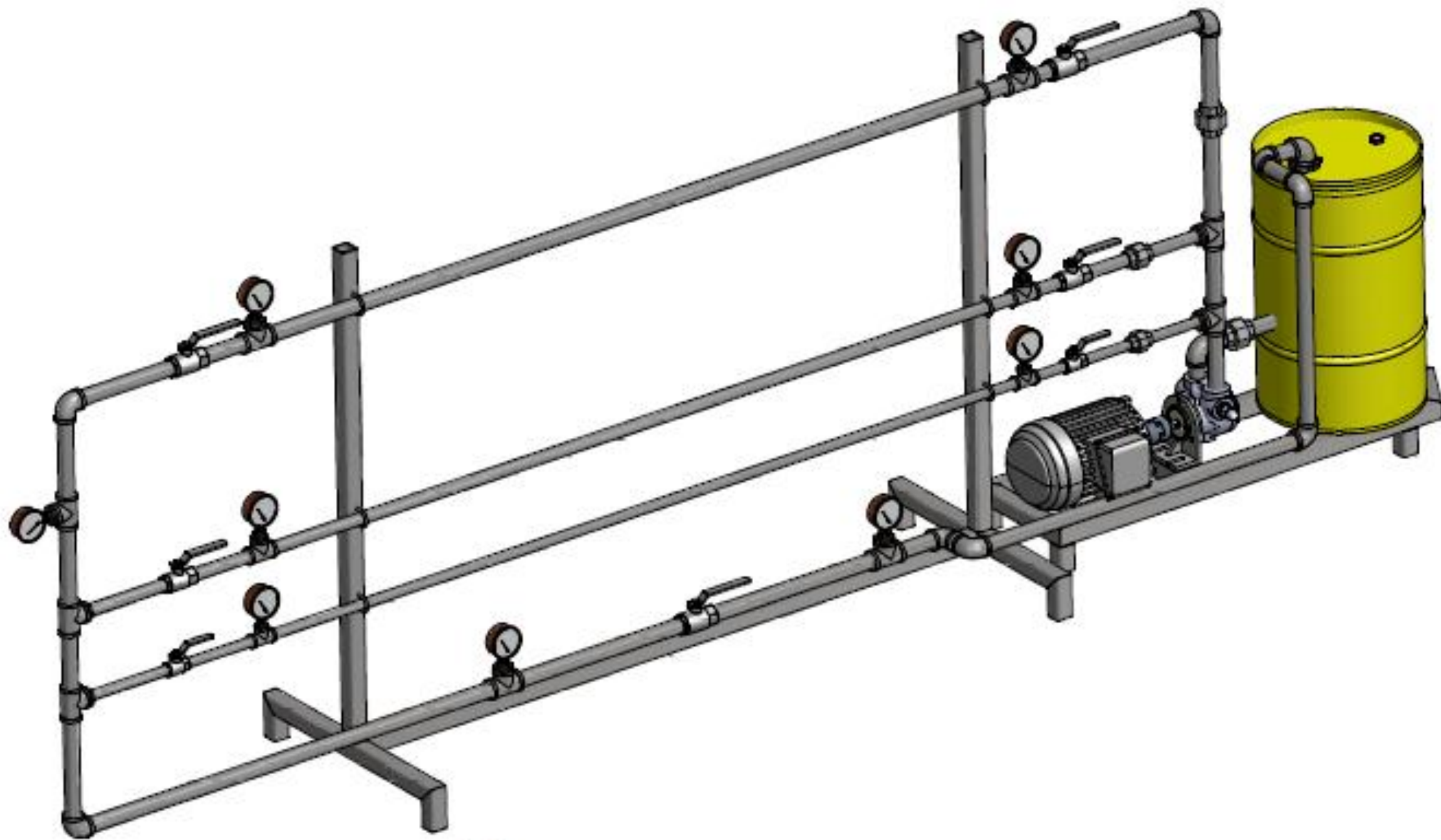
Fecha:	Nombre:	Escala:	<b>INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA</b>			
Dib.	Cesár A. Guilmaraigua G.	S/E				
Rev.	Ing. Héctor Luis Laurencio					
Apro	Ing. Héctor Luis Laurencio		Asignatura:	Denominación:		
Materiales:		Tolerancias:	Numero Lamina	TITULACION II		BANCO DE PRUEBAS ENSAMBLE GENERAL
MATERIALES		TOLERANCIA	01			



Nº del Dibujo	Denominación	Nº de Norma / Dibujo	Metal	Nº de orden	Nº del Modelo / semiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b> 							
Fecha:	Nombre:	Escala:		<b>INGENIERÍA ELECTROMECHANICA</b>			
Dib.	Cesár A. Guicamaigua G.	S/E					
Rev.	Ing. Héctor Luis Laurencio						
Apr.	Ing. Héctor Luis Laurencio			Número Lamina	Asignatura:	Denominación:	
MATERIALES		TOLERANCIA		02	TITULACION II	DETALLE TUBERIA	



Nº de Pieza	Denominación	Nº de Norma / Dibujo	Material	Nº de orden	Nº del Modelo / semiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b> 		Fecha: _____ Nombre: <b>Cesár A. Guilmaraigua G.</b> Escala: _____ Dib. _____ Rev. <b>Ing. Héctor Luis Laurencio</b> S/E Apro. _____ <b>Ing. Héctor Luis Laurencio</b>		<b>INGENIERÍA ELECTROMECHANICA</b>			
Materiales:		Tolerancias:		Número Lámina:		Asignatura:	
MATERIALES		TOLERANCIA		D3		TITULACION III	
						Denominación:	
						DETALLE BASES	



Nº de Pieza	Denominación	Nº de Norma / Dibujo	Materia	Nº de orden	Nº del Modelo / semiproducto	Peso (kg/pieza)	Observaciones
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b> 		Fecha: _____ Nombre: _____ Escala: _____ Dib. _____ Cesár A. Guilmaraigua G. S/E Rev. _____ Ing. Héctor Luis Laurencio Apro. _____ Ing. Héctor Luis Laurencio		<b>INGENIERÍA ELECTROMECAICA</b>			
<b>MATERIALES</b>		<b>TOLERANCIAS:</b> TOLERANCIA		Número Lamina 04		<b>Asignatura:</b> TITULACION II	
						<b>Denominación:</b> DETALLE DE CONEXION BOMBA	

## **Memoria técnica base y soportes de tuberías**

Se requiere instalar un sistema de bombeo de aceite, para un banco de pruebas que permita medir la caída de presión según los diferentes diámetros de tuberías. Para lo cual se requiere construir bases metálicas independientes, una para mantener fija la bomba y el tanque de aceite, y otra para fijar al sistema de tuberías que interconectaran el banco de pruebas, estas bases se encuentran separadas para evitar que se transmitan vibraciones desde el sistema de bombeo hacia los manómetros que se encuentran en el sistema de tuberías, y se pueda tener una correcta lectura de la presión en cada uno de los puntos de control.

### **Consideraciones**

Las bases se anclaran al piso, por lo que se consideran como apoyos fijos.

Peso del sistema de tuberías: 120kg, equivalente al peso de la tubería de 1" (11,88 kg/m), tubería ¾" (8,28 kg/m), tubería ½" (5,68 kg/m), peso de accesorios, válvulas y manómetros.

Tanque de aceite 20 galones: 75 kg

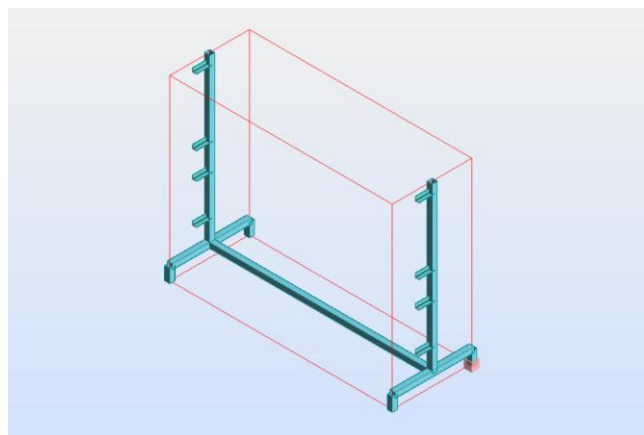
Peso de motor y bomba: 15 kg

Material de soportaría tubo cuadrado 40x40x2mm.

Para la obtención de esfuerzos y reacciones de las bases se utilizara un software de diseño, (robot estructural)

### **Base de tubería**

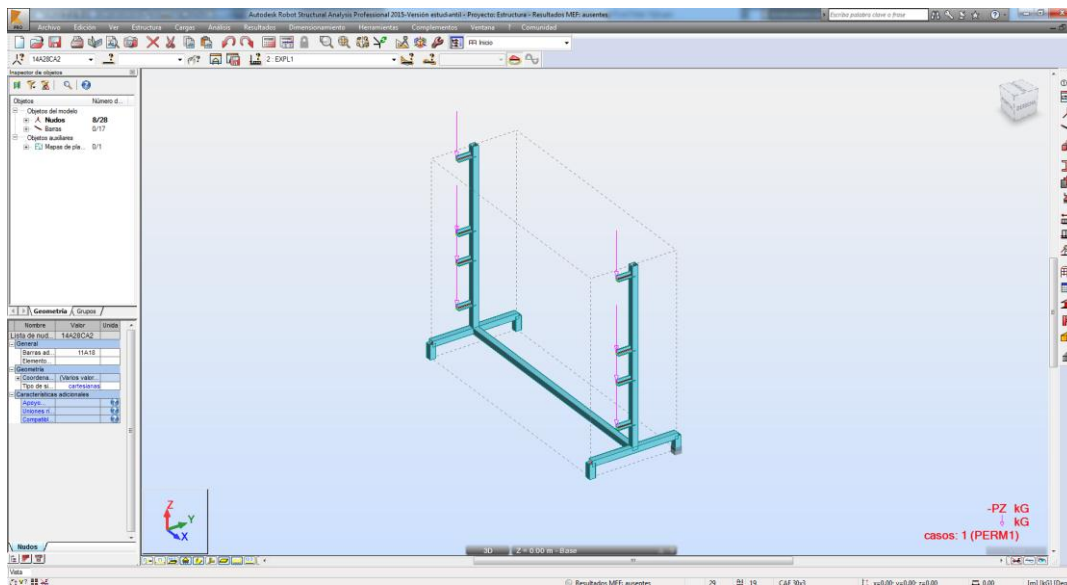
Una vez definido el ruteo, ubicación de la tubería y posición de los accesorios de interconexión se procede a determinar la forma de la base y ubicación de los soportes para la misma.



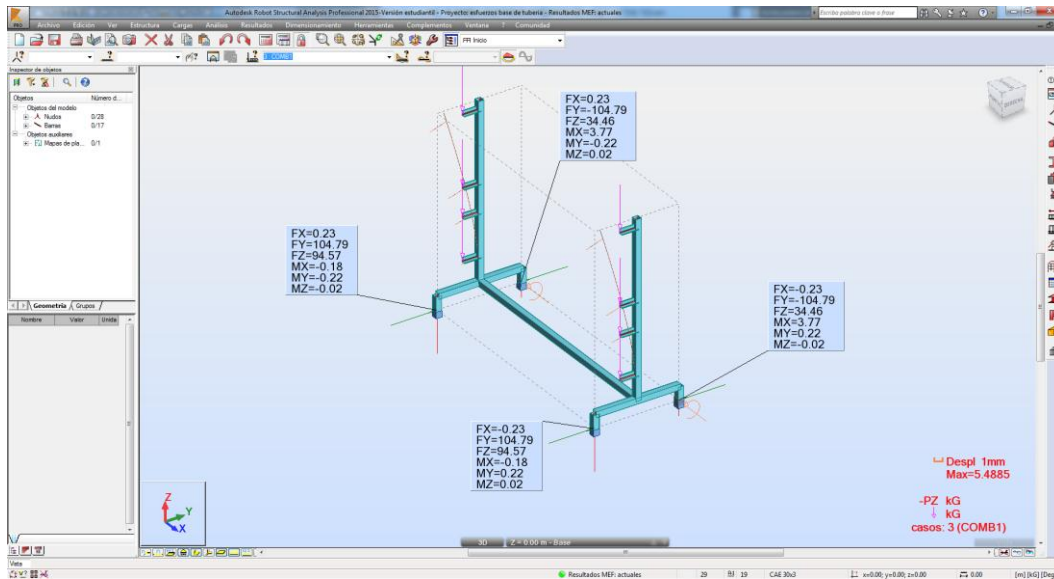
## Base de tubería

Consideramos que el peso de la tubería actúa como cargas puntuales en cada uno de los apoyos, siendo la carga que soportara cada apoyo igual a la carga total dividida para el número de apoyos.

Con ayuda del software procedemos al modelado de la base, a la asignación de materiales y de las cargas que actúan sobre el soporte.



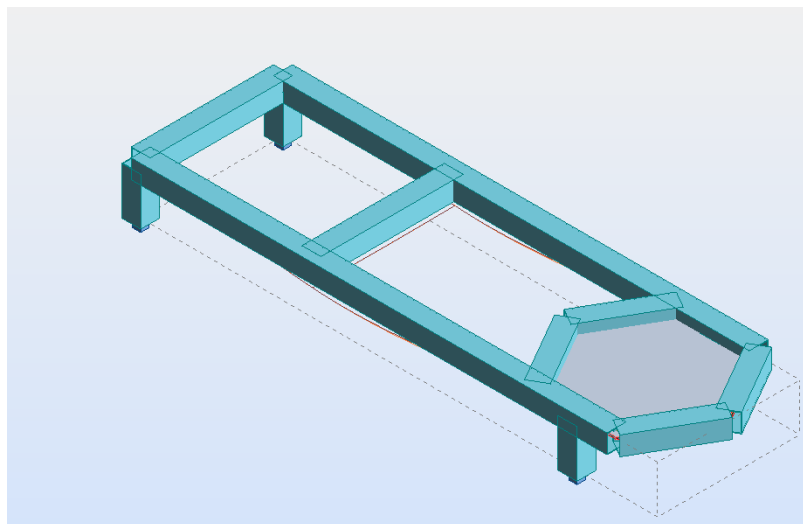
Realizamos una combinación de carga, que contenga el peso propio de la base más el peso de la tubería y un factor de mayoración ( $f_s$  factor de seguridad 1.5) y obtenemos los siguientes resultados.



Según los resultados obtenidos observamos que incluido el factor de seguridad la base tendrá un desplazamiento máximo de 5mm, y que la sollicitación de los elementos se encuentra bajo el 0,3% (siendo 0,9 a 1 la sollicitación máxima permisible) por lo que se garantiza que la base soportara las cargas generadas por la tubería.

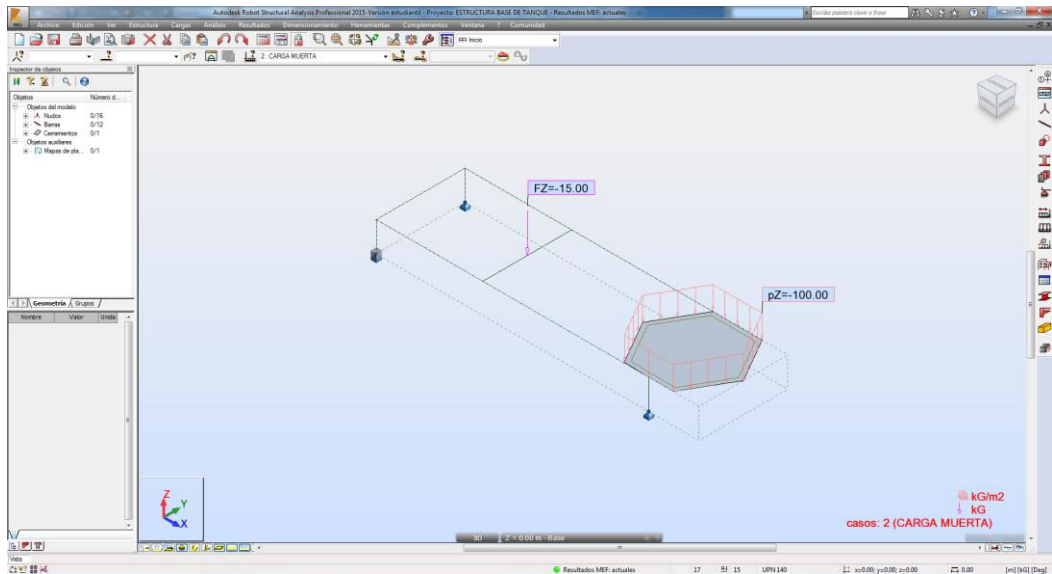
### Base de tanque y bomba

Una vez definido la ubicación del motor, bomba y el tanque de aceite se procede a determinar la forma de la base.

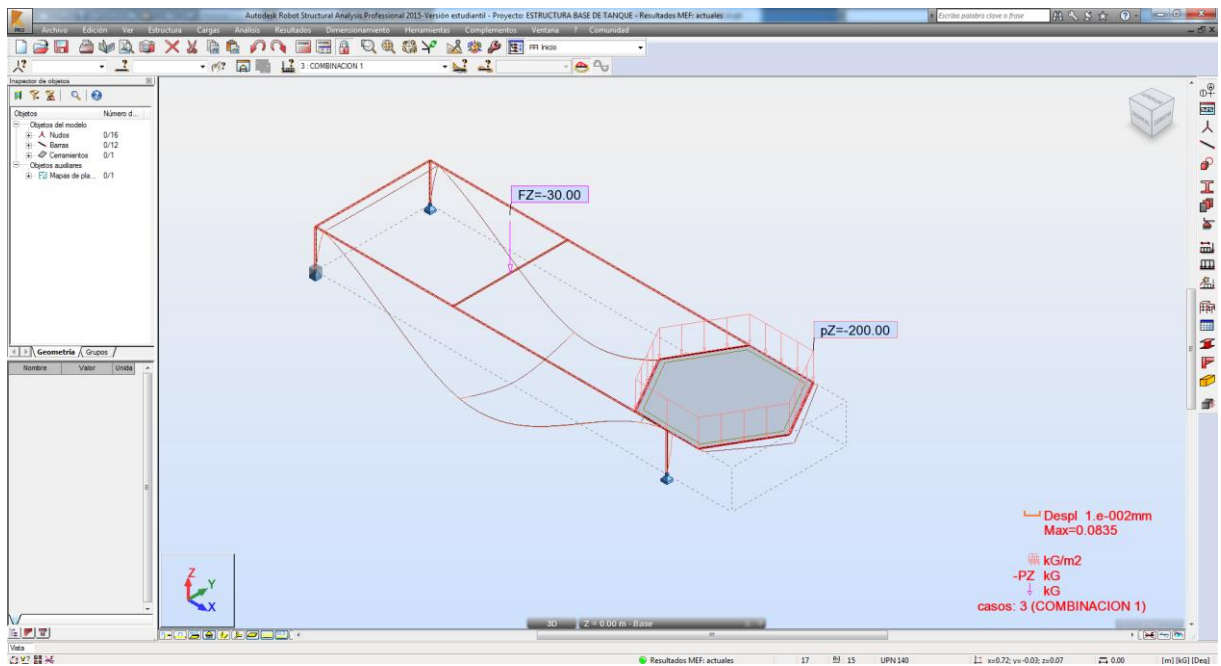


Consideramos que el peso del tanque de aceite se distribuye sobre los tubos que forman el hexágono.

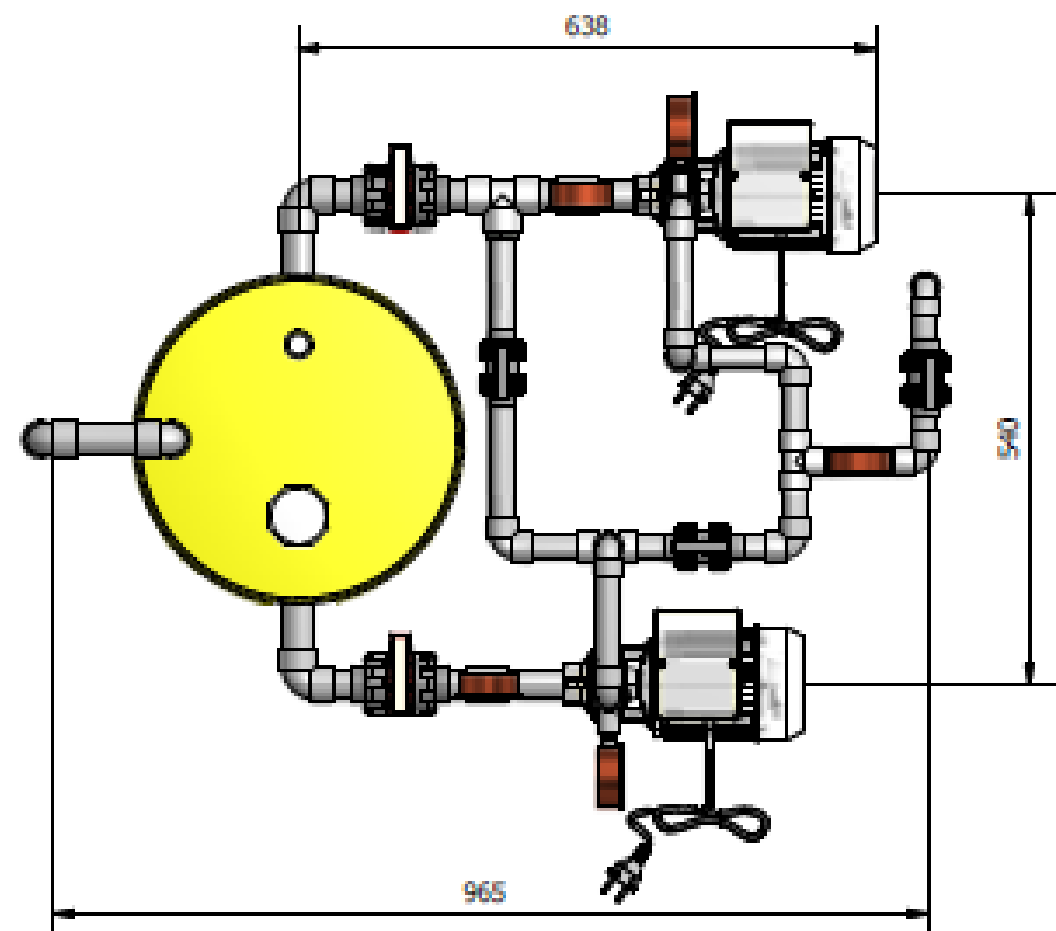
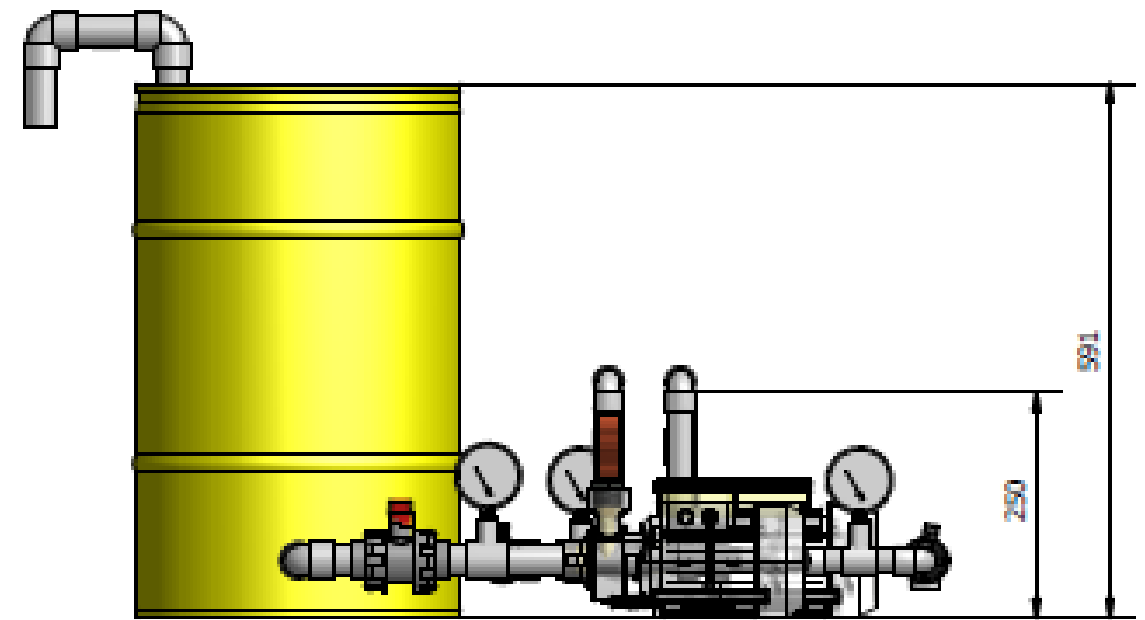
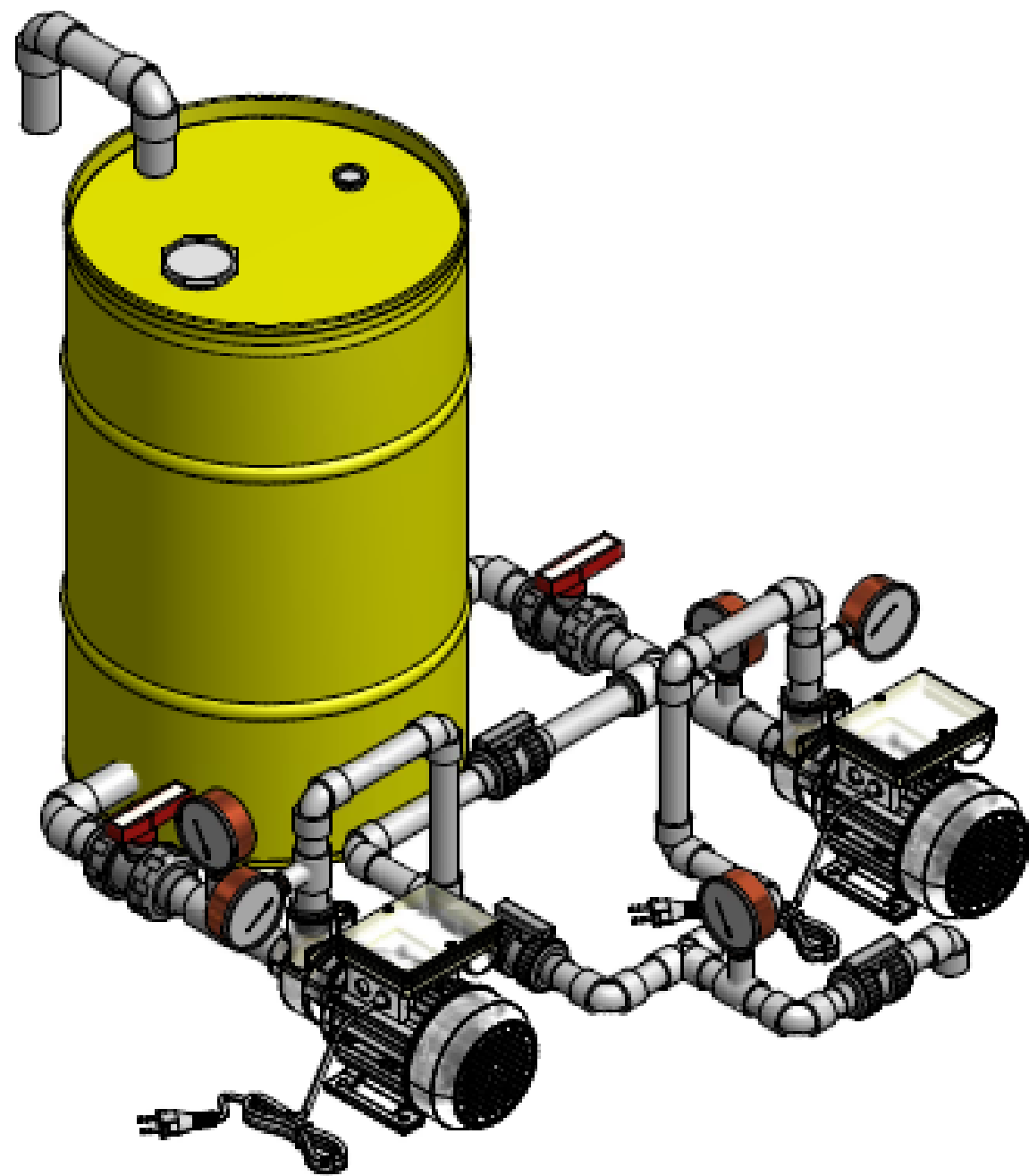
Con ayuda del software procedemos al modelado de la base, a la asignación de materiales y de las cargas que actúan sobre el soporte.




Realizamos una combinación de carga, que contenga el peso propio de la base más el peso del tanque, el peso del motor, la bomba y un factor de mayoración (fs factor de seguridad 1.5) y obtenemos los siguientes resultados.

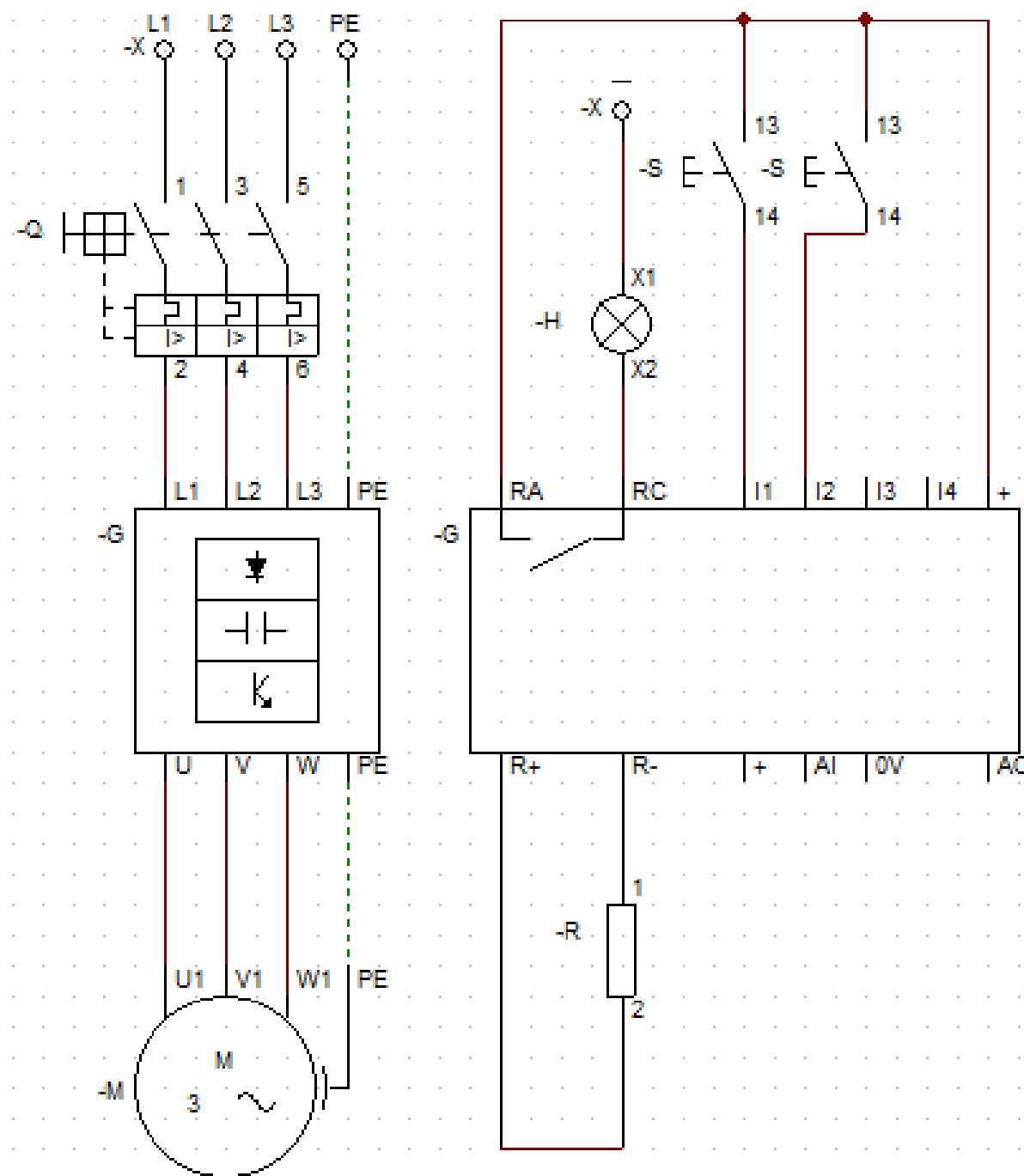




Según los resultados obtenidos observamos que incluido el factor de seguridad la base tendrá un desplazamiento máximo de 0.5mm, y que la sollicitación de los elementos se encuentra bajo el 0,3% (siendo 0,9 a 1 la sollicitación máxima permisible) por lo que se garantiza que la base soportara las cargas generadas por el tanque, la bomba y el motor.

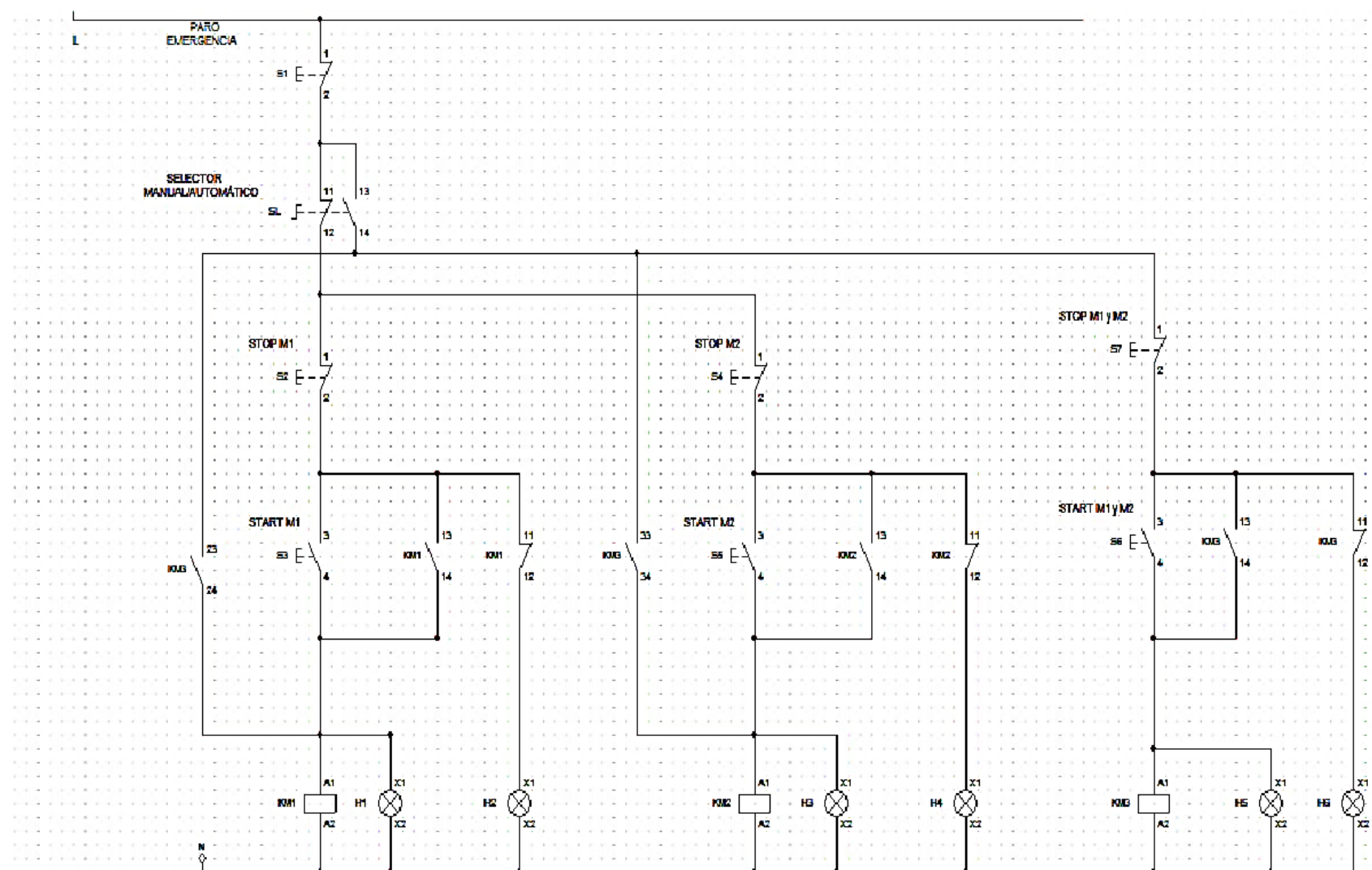



Nº de Pieza	Denominación	Nº de Norma / Dibujo	Materiales	Nº de orden	Nº del Modelo / semiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b> 							
Fecha:		Nombre:		Escala:		<b>INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA</b>	
Dib.		Cesár A. Guilmaraigus G.					
Rev.		Ing. Héctor Luis Laurencio					
Apro.		Ing. Héctor Luis Laurencio					
Materiales:		Tolerancias:		Número Lámina		Asignatura:	
MATERIALES		TOLERANCIA				TITULACION II	
						Denominación:	

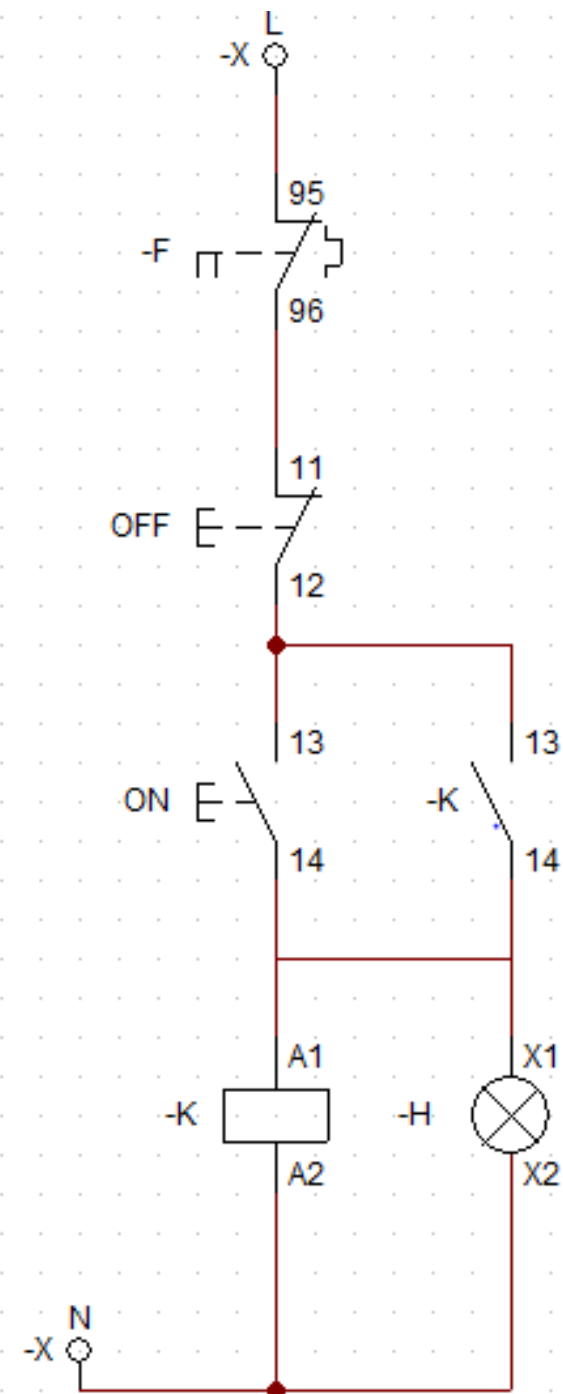






Nº de Hoja	Denominación	Nº de Norma / Dibujo	Material	Nº de orden	Nº del Modelo / semiproducto	Peso kg/placa	Observaciones
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b> 							
Fecha:	Nombre:	Escala:		<b>INGENIERÍA ELECTROMECAICA</b> <b>ESQUEMA ELÉCTRICO DE MANDO (MÓDULO 1)</b>			
Dib.:	Cesar A. Guilmamegus G.	3/E					
Rev.:	Ing. Héctor Luis Laurencio						
Apr.:	Ing. Héctor Luis Laurencio			Número Lamina:	Asignatura:	Denominación:	
Materiales:		Tolerancias:		D5	TITULACION II		
MATERIALES		TOLERANCIA					

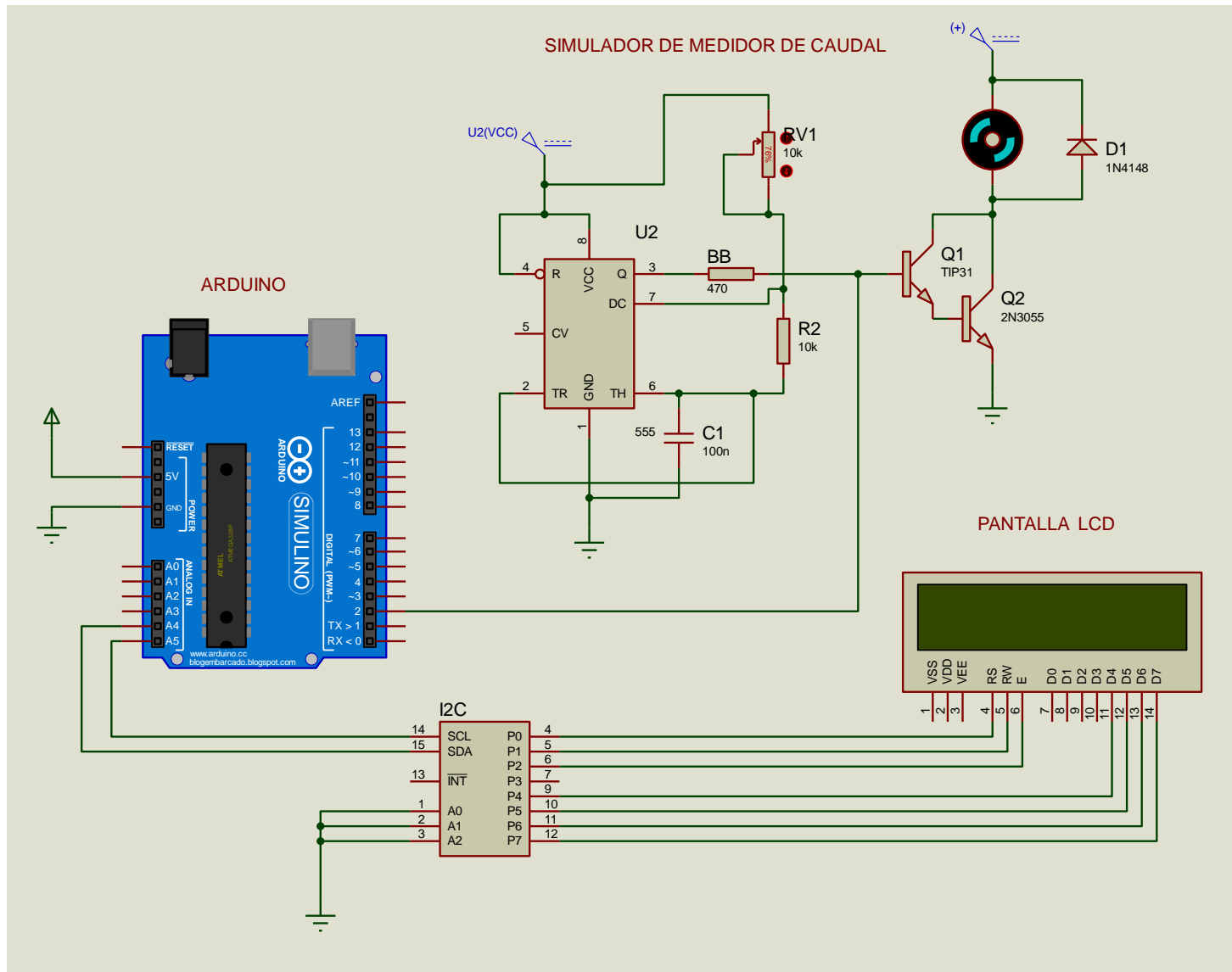


Form. / Hoja	Denominación	N° de Norma / Dibujo	Material	N° de orden	N° del Modelo / semiproducto	Peso kg/placa	Observaciones
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b> 							
Fecha:	Nombre:		Escala:		<b>INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA</b>		
Dib.:	Cesar A. Guilmaraigua C.		8/E				
Rev.:	Ing. Héctor Luis Laurencio						
Apro.:	Ing. Héctor Luis Laurencio						
Materiales:		Tolerancias:		Número Lámina	Asignatura:	Denominación:	
MATERIALES		TOLERANCIA		07	TITULACION II	ESQUEMA ELÉCTRICO DE FUERZA (MÓDULO 2)	



Nº de pieza	Denominación	Nº de Norma / Dibujo	Materiales	Nº de orden	Nº del Modelo / semiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b> 							
Fecha:	Nombre:	Escala:		<b>INGENIERÍA ELECTROMECHANICA</b>			
Dib.:	Cesar A. Guilmaraingus G.	8/E					
Rev.:	Ing. Hector Luis Laurencio						
Apro:	Ing. Hector Luis Laurencio						
Materiales:		Tolerancias:		Número Lámina:	Asignatura:		
MATERIALES		TOLERANCIA		08	TITULACION II		
				Denominación:			
				ESQUEMA ELÉCTRICO (MÓDULO 2)			

### Anexo 9.- Esquema de conexión electrónico.



## Anexo 10.- Programación del microcontrolador Arduino

```
#include <Wire.h>
#include <LCD.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#define I2C_ADDR 0x27

LiquidCrystal_I2C lcd(I2C_ADDR,2, 1, 0, 4, 5, 6, 7);

const int sensor = 2; //Sensor

int litros_Hora; // Variable que almacena el caudal (L/hora)

volatile int pulsos = 0; // Variable que almacena el número de pulsos

unsigned long tiempoAnterior = 0; // Variable para calcular el tiempo transcurrido

unsigned long pulsos_Acumulados = 0; // Variable que almacena el número de pulsos acumulados

float litros; // Variable que almacena el número de litros acumulados

// Rutina de servicio de la interrupción (ISR)

void flujo()
{
    pulsos++; // Incrementa en una unidad el número de pulsos
}

void setup()
{
    pinMode(sensor, INPUT_PULLUP);

    lcd.begin(16,2); // Inicializo el LCD 2004

    lcd.setBacklightPin(3,POSITIVE);

    lcd.setBacklight(HIGH);

    interrupts(); // Habilito las interrupciones

    // Interrupción INT0, llama a la ISR llamada "flujo" en cada flanco de subida en el pin digital 2

    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(sensor), flujo, RISING);

    tiempoAnterior = millis(); // Guardo el tiempo que tarda el ejecutarse el setup
}

void loop ()
{
    // Cada segundo calculamos e imprimimos el caudal y el número de litros consumidos

    if(millis() - tiempoAnterior > 1000)
    {
        // Realizo los cálculos formula /// COPIA///

        tiempoAnterior = millis(); // Actualizo el nuevo tiempo

        pulsos_Acumulados += pulsos; // Número de pulsos acumulados

        litros_Hora = (pulsos /4); // Q = frecuencia/ 7.5 (L/Hora) CAUDAL DE S400A

        litros = pulsos_Acumulados*1.0/450; // Cada 450 pulsos son un litro

        pulsos = 0; // Pongo nuevamente el número de pulsos a cero
    }
}
```

// Llamada a la función que muestra los resultados en el LCD 2004

```
LCD_2004();
}
}
void LCD_2004()
{
```

```
lcd.clear();
```

```
lcd.setCursor(0,0);
```

```
// Imprimo el caudal en L/hora
```

```
lcd.print("Caudal ");
```

```
lcd.print(litros_Hora, DEC);
```

```
lcd.print(" L/Min");
```

```
lcd.setCursor(0,1);
```

```
lcd.print("CAUDALIMETRO");
```

### Anexo 11.- Medidas de viscosidad del aceite



### Anexo 12.- Toma de datos del módulo didáctico.

DATOS EXPERIMENTALES DEL MÓDULO DIDÁCTICO						
N° Prueba	Diam.	Presión 1 [Psi]	Presión 2 [Psi]	Presión 1 [Pa]	Presión 2 [Pa]	Variación de Presión $\Delta P$
1	1"	15	13	103421,4	89631,88	13789,52
2		15	12,5	103421,4	86184,5	17236,9
3		16	12,9	110316,16	88942,404	21373,756
<b>Promedio</b>		<b>15,3333</b>	<b>12,8</b>	<b>105719,7</b>	<b>88252,93</b>	<b>17466,725</b>
1	3/4"	17	16	117210,92	110316,16	6894,76
2		16	13	110316,16	89631,88	20684,28
3		17	13	117210,92	89631,88	27579,04

<b>Promedio</b>		<b>16,67</b>	<b>14,00</b>	<b>114912,67</b>	<b>96526,64</b>	<b>18386,03</b>
1	1/2"	27	13,8	186158,52	95147,688	91010,832
2		26	14	179263,76	96526,64	82737,12
3		25	13,5	172369	93079,26	79289,74
<b>Promedio</b>		<b>26,00</b>	<b>13,77</b>	<b>179263,76</b>	<b>94917,86</b>	<b>84345,90</b>

<b>CAUDALIMETRO</b>								
<b>17</b>	<b>Lts</b>	1	m3	1	min	<b>0,000283</b>	<b>m3</b>	<b>1"</b>
	<b>min</b>	1000	ltrs	60	seg		<b>seg</b>	
<b>17</b>	<b>Lts</b>	1	m3	1	min	<b>0,000283</b>	<b>m3</b>	<b>3/4"</b>
	<b>min</b>	1000	ltrs	60	seg		<b>seg</b>	
<b>17</b>	<b>Lts</b>	1	m3	1	min	<b>0,000283</b>	<b>m3</b>	<b>1/2"</b>
	<b>min</b>	1000	ltrs	60	seg		<b>seg</b>	