



Universidad Nacional Autónoma
de México
Facultad de Estudios Superiores
Zaragoza



INGENIERÍA CONCEPTUAL, BÁSICA, DETALLE Y PROCURA DE
UN SISTEMA MODULAR DE FLUJO DE FLUIDOS CON
INTERCAMBIO DE CALOR ÍNTEGRAMENTE MONITOREADO Y
CONTROLADO CON ARDUINO Y MATLAB

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Químico

Presenta:

VELAZQUEZ PEDROZA ÁNGEL DE JESÚS

Director de tesis:

IQ Ángel Gómez González

Asesores Internos:

IQ Víctor Hugo Villar Marín

IQ David Salazar Macías

2023

México, CDMX



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatoria

Bride to be Miriam Gutiérrez Rodríguez

Agradecimientos

Familia:

María, Marino, Ricky, Lupita, Christian, Dylan, Leslie, Janet, Brenda, Ruth, Susana, José.

Maestros:

Química:

Guadalupe, Araceli, Viviana, Ana Laura, Anleu, Sergio, Rocío, Alejandra, Luis, Cuauh.

Física:

Esperanza, Espiridión.

Matemáticas:

Sierra, Raymundo.

Dibujo:

Ignacio.

Inglés:

Victoria, Gabriel, Vanessa.

Biología:

Refugio Lomelí, María Elena Vera.

Natación:

Leonardo, Javier, David, Mario, Diego, Laura.

Gimnasio:

Lalo, Fede.

Piano:

Mandujano

Amigos:

Primaria: Paulo, Enrique, Saúl, Manuel, Emilio, Víctor, Jessica, Suemy, Viridiana, Ariadna, Karen.

Secundaria: Javier, Javier, Manuel, Carlos, Laura, Diana, Citlalli, Daniela, Sergio, Roberto.

Prepa: Héctor, Iván, Rafa, Diego, Diego, Yael, Eduardo, Salvador, Arturo, Aldo, Antonio, Arnulfo, Jesús, Gabriel, Emiliano, Rafael, Uriel, Brian, Alejandro, Rocío, Paulette.

Banda: Ricardo, Oscar, Diego, Rodrigo, Gerardo, Diego, Yesenia, David, Rafa, Diego, Luis, Ricardo, Miguel.

Alberca: Pamela, Enrique, Ana, Marco, Águeda, Gerónimo, Benjamín

Universidad: Giovanni, Luis, Edgar, Alejandro, Víctor, Christian, Gregorio, Fernanda, Alma, Aarón, Alma, Silvia, Stephanie, Enrique, Adrián, Edwin, Luis, Brandon, Paty, Alan, Tzamn, Xóchitl, Brenda, Valeria, Miguel, Edgar, Rafa, Diego, Vianney, Raúl, Daniel, Pablo, James, Ralph, Miguel, Martín, Adriana, Héctor, George, René, Ían, Karen, Brenda, Miguel, Iván, Joshua, Eduardo, Diego, Valentino, Omar, David, Sandra, Andrea, Jonathan, Andrea, Stephanie, Irlanda, Montse, Sharday, Gerald, Rafa, Roberto, Michelle, Suguey, Mario, Carlos, Karina, Itzel, Cesar, David, Esmeralda, Itzel, Lulú, Marcos, Nallely.

Instituto de Ingeniería: Armando, Arnold, Elizabeth, Misael, Miguel, Angélica

Papelera: Mauricio, Rodrigo, Jesús, Fabián, Jaime, Rodrigo, Gregorio, Ariel, Christian, Joel, Víctor, Michael, Eduardo, Mario, Fernando, Cesar, Jonás, Raúl.

Filos: María.

Ticsa: Raziél, Alberto, Yukari, Andrea, Fernanda, Karla, David, Omar, Angel, Arturo, Fernanda, Mauricio, Alejandro, Sebastian, Alan, Carlos, Luis, Dorian, Mauricio, Lalo, Daniel, Marco, Éricka, Mónica, Juan Pablo, Fernando, Mario, Pedro, Bryan, Diego, Cipriano, Omar, Clemente, Israel, Ángel, Lupita, Leonel.

CONTENIDO

Resumen.....	7
1. Introducción	7
2. Marco Teórico.....	9
2.1 Ingeniería de proyectos	9
2.1.1 Generalidades de los proyectos.....	9
2.1.2 Ingeniería conceptual.....	10
2.1.3 Ingeniería básica	11
2.1.4 Ingeniería de detalle.....	11
2.1.5 Ingeniería de procura (gestión de compras)	12
2.1.6 Documentos	13
2.1.7 Planos	14
2.2 Diseño de procesos.....	14
2.2.1 Diseño de plantas de proceso.....	15
2.2.2 Diseño modular.....	15
2.3 Flujo de fluidos	16
2.3.1 Características de los fluidos.....	16
2.3.2 Dinámica de fluidos.....	17
2.3.3 Flujo de fluidos en tuberías.....	17
2.3.4 Sistemas de bombeo	18
2.4 Transferencia de calor	19
2.4.1 Mecanismos de transferencia de calor	19
2.4.2 Intercambiadores de calor de doble tubo	19
2.4.3 Efecto Peltier	21
2.5 Ingeniería eléctrica y electrónica.....	21
2.5.1 Instalaciones eléctricas	22
2.5.2 Sistemas análogos y digitales	22
2.5.3 Protocolos de comunicación.....	24
2.6 Dinámica y control de procesos	24
2.6.1 Sistemas dinámicos	24
2.6.2 Lazos de control	25
2.6.3 Estrategias de control	25

2.6.4 Instrumentos, monitoreo y automatización.....	26
2.6.5 Válvulas de control.....	27
2.7 Herramientas computacionales.....	27
2.7.1 Arduino.....	28
2.7.2 Matlab.....	28
2.7.3 App Designer.....	29
2.7.4 Interfaz gráfica de usuario (<i>Graphical User Interface, GUI</i>).....	29
3. Planteamiento del problema.....	30
4. Objetivos.....	30
4.1 Objetivo general.....	30
4.2 Objetivos específicos.....	30
5. Materiales y métodos.....	31
5.1 Concepción.....	31
5.2 Planeación.....	33
5.3 Diseño.....	36
5.4 Simulación.....	43
5.5 Adquisición de equipos e instrumentos.....	45
5.6 Experimentación.....	45
5.7 Construcción.....	52
5.8 Puesta en marcha.....	55
6. Resultados.....	56
7. Discusión.....	73
8. Conclusión.....	75
9. Referencias.....	77
10. Anexos.....	79
10.1 Ingeniería Conceptual.....	79
10.2 Ingeniería Básica.....	82
10.2.1 Bases de Diseño.....	83
10.2.1 Criterios de Diseño.....	89
10.2.3 Descripción del Proceso.....	93
10.2.4. Lista de Equipos.....	95
10.2.5 Balance de Masa y Energía.....	98
10.2.6 Requerimiento de Servicios Auxiliares.....	100

10.2.7 Diagrama de Flujo de Proceso.....	103
10.2.8 Hojas de Datos de Equipo	105
10.2.9 Diagrama de Tuberías e Instrumentación	112
10.2.10 Índice de Líneas	114
10.2.11 Plano de Localización General	117
10.2.12 Índice de Instrumentos.....	119
10.2.13 Índice de de Control y Monitoreo.....	126
10.2.14 Hojas de Datos de Válvulas de Control.....	132
10.2.15 Sumario de Alarmas, Paros y Arranques	134
10.2.16 Circuitos Lógicos de Control	137
10.2.17 Tablero Principal de Control.....	141
10.2.18 Plano de Notas Generales	147
10.2.19 Filosofía de Operación y Control	149
10.2.20 Especificaciones Generales	156
10.3 Ingeniería de Detalle	158
10.3.1 Diseño de Recipientes.....	159
10.3.2 Isométrico de Distribución Hidráulica.....	163
10.3.3 Especificación de Tuberías y Perfil Hidráulico	165
10.3.4 Especificación de Bombas.....	178
10.3.5 Memoria de Cálculo Hidráulico	184
10.3.6 Intercambiador de Calor de Doble Tubo	191
10.3.7 Intercambiador de Calor de Efecto Peltier	193
10.3.8 Memoria de Cálculo Termico	195
10.3.9 Diseño de Válvula de Control.....	204
10.3.10 Plano de Estructuras	206
10.3.11 Diagrama Unifilar Eléctrico	208
10.3.12 Diagrama Unifilar Electrónico.....	210
10.3.13 Plano de Distribución Eléctrica y Electrónica	212
10.3.14 Plano de Acabados.....	214
10.4 Ingeniería de Procura	216
10.5 Código de Arduino.....	229
10.6 Código de la Interfaz Gráfica de Usuario.....	233

Lista de Figuras

Figura 1 Intercambiador de calor de doble tubo con 2 horquillas.	20
Figura 2 Tipos de señales.....	23
Figura 3 Lazo de control feedback.....	26
Figura 4 Interfaz de líneas de comandos vs Interfaz gráfica de usuario.....	29
Figura 5 Equipo modular Mark I.....	31
Figura 6 Equipo modular Mark II.....	32
Figura 7 Equipo modular Mark III.....	32
Figura 8 Equipo modular Mark IV.....	33
Figura 9 Equipo modular Mark V.....	33
Figura 10 Esquema de progresión.....	34
Figura 11 Diagrama de Gantt del proyecto.....	35
Figura 12 Maqueta Electrónica elaborada en SketchUp.....	38
Figura 13 Materiales para tubería.....	39
Figura 14 Accesorios electrónicos.....	41
Figura 15 Entorno de desarrollo de App Designer, editor de apariencia.....	42
Figura 16 Simulador Proll.....	43
Figura 17 Siulador Proteus.....	44
Figura 18 Simulador Simulink.....	44
Figura 19 Entorno de desarrollo de Arduino.....	47
Figura 20 System Identificación de Matlab.....	48
Figura 21 Lazo de control del proceso.....	49
Figura 22 Enfriador de efecto Peltier.....	50
Figura 23 Válvula de control del proceso.....	51
Figura 24 Entorno de desarrollo App Designer, editor de código.....	52
Figura 25 Curva S.....	57
Figura 26 Coeficiente de resistencia de tubería de Polipropileno.....	59
Figura 27 Curvas de la bomba.....	60
Figura 28 Balance en Proll.....	61
Figura 29 Balance en Excel.....	61
Figura 30 Simulación en Proteus.....	62
Figura 31 PID Tunner de Matlab.....	63
Figura 32 Constantes P,I,D.....	63
Figura 33 Espacio de trabajo electrónico.....	64
Figura 34 Función de transferencia.....	65
Figura 35 System Identificación, herramienta para la obtención de funciones de transferencia.....	66
Figura 36 Respuesta de control sin PID.....	67
Figura 37 Respuesta de control con PID.....	67
Figura 38 Enfriador de efecto Peltier con terminales monitoreadas.....	68
Figura 39 Grafica de variación de temperatura con modulación PWM.....	68
Figura 40 Válvula de control con monitoreo de porcentaje de apertura.....	70
Figura 41 Monitor serial de Arduino.....	70
Figura 42 Entorno de desarrollo de App Designer, administrador de funciones.....	71
Figura 43 Entorno de desarrollo de App Designer, algoritmo de arranque.....	72
Figura 44 Autocad.....	72

Resumen

En este proyecto se plantea la propuesta de un equipo modular para la planta piloto del campo 2 de la Fes Zaragoza. El trabajo presentado se planeó y documentó bajo la consigna de que la implementación de todo equipo industrial del ramo químico no se restringe únicamente a consideraciones afines a la ingeniería química, sino que es el resultado de la convergencia de numerosas ramas de ingeniería complementándose unas con las otras.

El equipo modular propuesto busca ser auxiliar para la comunidad académica principalmente complementando experimentalmente el análisis de operaciones unitarias de flujo de fluidos, transferencia de calor, dinámica y control de procesos e incluso para balances de materia y energía.

El acercamiento que se le da al presente trabajo es desde una perspectiva de ingeniería de proyectos, haciendo énfasis en la documentación y presentación del proyecto como “ingeniería preliminar”.

El proyecto en cuestión fue planeado y desarrollado siguiendo el esquema de trabajo típico de una firma de ingeniería; se destinaron tiempos para la planeación general, simulación de operaciones, diseño de equipos, selección de instrumentos, calibración, programación de software, documentación, construcción, ensamble, pruebas de arranque y acabados.

Este trabajo conjunta conceptos de las diferentes asignaturas del plan de estudios vigente de la carrera de ingeniería química, además de incluir superficialmente algunos otros conceptos de otras ingenierías (principalmente electrónica) y pretende demostrar experimental y simulativamente aquello en lo que se respalda teóricamente.

1. Introducción

A lo largo de los años se han documentado históricamente los proyectos ingenieriles que los seres humanos han realizado. En términos constructivos, se tienen de ejemplo las edificaciones monumentales, las ciudades, las presas, las plantas de tratamiento de cualquier tipo, etc. El común denominador de dichos ejemplos es que para haber sido llevados de la concepción a la realidad se respaldaron en una evidencia documental. La documentación de actividades en un proyecto es una actividad que resulta de utilidad de muchas maneras; mantiene enfocado a los integrantes del proyecto en objetivos a corto plazo, sirve como medio de comunicación documental entre integrantes del proyecto, también es evidencia y marco teórico técnico y legal, etc.

Resulta bastante difícil, por no decir imposible, caracterizar un proyecto de ingeniería de cualquier índole sin incluir mínimamente conceptos de la mayoría ramas del alcance de la ingeniería. Particularmente para la ingeniería química, a manera de ejemplo, no se podría canalizar procesos en tuberías metálicas con sistemas de bombeo y distribución sin los materiales que proveen los metalúrgicos, sin las bombas que diseñan los mecánicos. Las bombas no podrían funcionar sin sistemas de suministro y control eléctrico. Los sistemas de control (más recientemente) no funcionarían sin componentes electrónicos. La automatización de operaciones complejas sería muy difícil sin la ayuda de software digital. Finalmente, la integración de instalaciones químicas, mecánicas, eléctricas, electrónicas y digitales requieren de estructuras y cimentaciones.

Este trabajo se sitúa en dos contextos principalmente, identifica problemáticas durante el desarrollo del proyecto y propone dar soluciones concretas como se explica a continuación:

1. En un contexto académico, al igual que de manera profesional, la modalidad de trabajo en proyectos puede resultar ser la forma más amena de trabajar con los mejores resultados en el menor tiempo; o en el peor de los casos, una pérdida de tiempo y recursos. La diferencia muchas veces recae en la buena planificación y documentación. Cuando no se cuenta con estos elementos, el resultado puede ser más grave que una mala ejecución.
2. En un contexto de ingeniería química en pleno siglo XXI, está de más decir que la mayoría de las operaciones unitarias de los procesos industriales están automatizados casi en su totalidad, con la excepción de aquellos procesos de montaje para lo cual aún se necesitan personas. En un entorno en el cual la interacción de los operadores de las industrias ha pasado de ser de propelas o válvulas de control humanas, a la manipulación de computadoras de control, se vuelve ineludible la labor del ingeniero químico responsable de familiarizarse con la automatización.

Este trabajo pretende conseguir dos cosas: implícitamente incentivar la vinculación de la comunidad académica de ingenieros químicos a cuestiones de automatización y digitalización. Para conseguir esto se planificó y desarrolló la documentación de ingeniería preliminar de un proyecto de ingeniería química con la intención de satisfacer la segunda cuestión más importante: incentivar la buena práctica de planificación y desarrollo de un completo soporte técnico de un proyecto de ingeniería.

2. Marco Teórico

2.1 Ingeniería de proyectos

El eje principal de este trabajo es la ingeniería de proyectos, la cual consiste en la planificación y administración de actividades y documentos necesarios para llevar a la realidad una idea. Cuando se tiene definido “qué hacer”, se deberá después dividir y planificar el trabajo en etapas y actividades.

En el campo de la ingeniería una idea suele ser compleja, y lo típico es llevarla a la realidad trabajando en sus respectivas etapas desde diferentes enfoques de manera paralela, es decir desde perspectivas especializadas. En el proceso, se conjunta toda la información necesaria para generar un soporte técnico documental conocido como “ingeniería preliminar”

La “ingeniería preliminar” es el resultado de las etapas típicas de un proyecto de ingeniería: ingeniería conceptual, ingeniería básica, ingeniería de detalle e ingeniería de procura.

2.1.1 Generalidades de los proyectos

“Proyecto es la combinación de recursos, humanos y no humanos en una organización temporal para conseguir un propósito determinado” (David I. Cleveland, 1983)

El proyecto industrial, sea cual sea su tamaño, se apoya en unas tecnologías que son las que le dan vida y razón de ser; y esas tecnologías no sólo deben conocerse y dominarse, sino ser utilizadas en forma armónica y organizada para conseguir un buen proyecto, realista y equilibrado. (Castillo, Teoría general del proyecto Volumen II, 1998)

El diseño de proyectos en la ingeniería química no sigue una serie de pasos estándar como muchos de los problemas analizados durante el aprendizaje, tampoco tiene una única solución “correcta”. Las consideraciones en el diseño de proyectos son muchas y variadas. La solución que finalmente es aceptada es (usualmente) “la mejor solución” seleccionada de varias alternativas (muchas veces basado en consideraciones económicas). La característica importante del diseño de proyectos es que las decisiones deben ser tomadas en cada etapa del proyecto, decisiones frecuentemente comprometedoras. (Martin S. Ray, 1989)

El diseño y la construcción de una planta de procesos nunca podrán ser llevados a cabo únicamente por profesionales de una sola rama de ingeniería. Ello

debe de resultar de los esfuerzos coordinados de ingenieros químicos, mecánicos, eléctricos y civiles, así como de químicos y especialistas en otros campos. Sin embargo, este esfuerzo combinado, debe ser dirigido por un solo individuo capaz de guiar a los ingenieros, anticipar los problemas rutinarios y programar las diversas fases del trabajo. Por lo tanto, ha llegado a ser de práctica común en industrias de proceso, asignar esta responsabilidad global a un solo individuo llamado ingeniero de proyecto o gerente. (Howard F. Rase, 1968)

La coordinación técnica de los trabajos es la principal responsabilidad de los ingenieros de proyecto y se refleja en los planos del proyecto, cuyo desarrollo en el tiempo, hasta su aprobación final, va marcando el progreso de la ingeniería. (Castillo, Teoría general del proyecto Volumen II, 1998)

2.1.2 Ingeniería conceptual

Entre los documentos de proceso y la ingeniería, suele realizarse lo que se conoce como ingeniería conceptual, cuyo alcance y contenido es muy diferente en cada caso, lo que hace difícil definirla con claridad.

Es bien conocido que todo el proceso de desarrollo del proyecto, y muy especialmente sus etapas iniciales, constituyen un proceso típicamente iterativo; un avanzar y comprobar, para volver atrás y avanzar nuevamente con más información y mejores soluciones.

Es dentro de este proceso donde hay que enmarcar a la ingeniería conceptual.

El campo tecnológico al que pertenezca el proyecto, los hábitos de la empresa que lo esté desarrollando, el propio grado de desarrollo y la cultura técnica del país en que se realiza, influyen grandemente en el contenido real de esa ingeniería conceptual.

Lo que es indispensable es que, al finalizar la revisión de los estudios previos de viabilidad técnica y económica, en lo que a tecnología se refiere, se disponga de documentación suficiente que defina perfectamente todo el proceso de producción, los equipos y demás elementos que lo integran, y las variables mecánicas, físicas o fisicoquímicas que deben ser controladas para su correcto funcionamiento. (Castillo, Teoría general del proyecto Volumen II, 1998)

2.1.3 Ingeniería básica

Una vez revisados los estudios previos, la principal tarea de la empresa de ingeniería será plasmar en documentos adecuados toda la información correspondiente a la tecnología, al proceso de fabricación, que constituye el objeto y la parte fundamental de la ingeniería básica.

A esta altura del proyecto se sabe ya “qué y cuánto se va a producir” y “cómo se va a producir” en función de la ingeniería de proceso disponible.

También se dispone de todos o buena parte de los datos de partida necesarios para realizar ésta y las posteriores etapas, así como una estructura de organización del proyecto.

A partir de toda esta información hay que elaborar la ingeniería básica, que puede definirse como el “conjunto de documentos que define inequívocamente el proyecto, su alcance y su coste más favorable en un entorno dado”. (Castillo, Teoría general del proyecto Volumen II, 1998)

La importancia de los distintos componentes de la ingeniería básica para el futuro del proyecto, hace imprescindible un estudio profundo de todos sus detalles, su discusión y su establecimiento como básicos y “casi” inamovibles en el futuro.

Dada la importancia de este aspecto tanto para la empresa de ingeniería como para la propiedad es necesaria una aprobación, por parte de todos los interesados, de la mayoría de los documentos que integran la ingeniería básica.

La finalización de la ingeniería básica en sus distintos aspectos supone un punto de inflexión en la realización del proyecto semejante al que se produjo al finalizar los estudios previos.

Es la última ocasión de modificar, de forma económica y racional, cualquier característica del proyecto; y de llegar, incluso, a su cancelación si fuese necesario por la importancia de los cambios producidos, especialmente en el presupuesto.

Por todo ello, una vez estudiada, discutida y aprobada, debe reflejarse en un soporte documental adecuado que permita iniciar las etapas siguientes con las responsabilidades claramente asumidas. (Castillo, Teoría general del proyecto Volumen II, 1998)

2.1.4 Ingeniería de detalle

La ingeniería de detalle toma la información procedente de la etapa anterior, de la ingeniería básica, y la desarrolla hasta el grado de detalle necesario para acometer la construcción del proyecto en la forma que se haya previsto.

Es importante, aunque desgraciadamente infrecuente, el disponer de todos los datos e información relativos al proceso tecnológico y a la ingeniería básica en este momento.

El no contar con esta información completa, o los cambios posteriores de la misma, bien por parte de la propiedad o por el suministrador del proceso, ocasionan retrasos y encarecen esta etapa de ingeniería de detalle.

Al concluir la ingeniería de detalle se dispondrá de toda la documentación imprescindible para la compra de todos los equipos y materiales necesarios para el proyecto, así como para la construcción y montaje de las instalaciones objeto del mismo.

Los departamentos que deben intervenir en el desarrollo de la ingeniería de detalle dependen, en primer lugar, de la naturaleza del proyecto, y después de la organización específica de la empresa que lo desarrolle.

A estos efectos y a fin de disponer de la máxima flexibilidad, se va a considerar que los departamentos fundamentales de una empresa de ingeniería son los correspondientes a las disciplinas de:

- Infraestructura.
- Arquitectura y construcción.
- Estructuras y cimentaciones.
- Mecánica.
- Electricidad.
- Tuberías.
- Instrumentación y control.

El nivel y alcance que se pretende dar a la ingeniería de detalle, ha de definirse claramente y transmitirse también en este momento. Habitualmente ya estará definido en el contrato, pero es útil profundizar en esa definición para que todos los integrantes del equipo sepan que se espera de cada uno de ellos. (Castillo, Teoría general del proyecto Volumen II, 1998)

2.1.5 Ingeniería de procura (gestión de compras)

La gestión de compras se puede definir como el conjunto de operaciones necesarias para adquirir y entregar en el lugar de la obra todos los materiales y equipos necesarios para la ejecución material del proyecto.

Naturalmente estos materiales y equipos corresponden a las exigencias y especificaciones técnicas establecidas en la ingeniería de detalle y habrán de conseguirse al mínimo coste, compatible con la calidad fijada y en el plazo más adecuado dentro de la programación general del proyecto.

La influencia de la gestión de compras en el coste del proyecto es muy grande y también en el plazo, ya que ambas variables están siempre ligadas.

La organización de esta gestión de compras incluye, habitualmente, cuatro funciones básicas y distintas que la configuran que son:

- Compras.
- Activación.
- Inspección.
- Tráfico.

La función de compras incluye desde la selección de posibles suministradores, hasta la colocación de la orden de compra o pedido y sus cambios posteriores.

La activación tiene por objeto controlar y presionar para cumplir todas las fechas parciales, que condicionan a su vez el cumplimiento de los plazos de entrega fijados. Esta función incluye desde la recepción y devolución de los planos e información de vendedores, hasta el control de los acopios de los propios fabricantes, el progreso de fabricación de los equipos y su entrega en el lugar de la obra en la fecha establecida.

La función de inspección es fundamentalmente el control de calidad, tanto de los materiales y de los métodos de trabajo, como del propio equipo terminado y aceptado, después de efectuarse con éxito todos los ensayos establecidos.

Finalmente, tráfico se refiere al transporte de materiales y equipos desde su origen (fábrica, punto de descarga, etc.) hasta el lugar de la obra, así como manipulación, almacenamiento, traslado, etc.

El desarrollo de estas funciones supone un elevado grado de actividad y de relaciones internas (director del proyecto, ingeniero de proyecto, especialistas, administración, etc.), como exteriores (propiedad, proveedores, agentes de aduana, organismos oficiales, etc.). (Castillo, Teoría general del proyecto Volumen II, 1998)

2.1.6 Documentos

Todos los documentos constitutivos del proyecto deben cuidarse en cuanto a la calidad de su presentación y los formatos más adecuados. Los tamaños de planos y hojas de cálculo deben normalizarse utilizando formatos tipo para todos aquellos trabajos de carácter repetitivo: hojas de datos, especificaciones de equipos, cálculos, mediciones, presupuestos, etc.

En la actualidad el uso habitual del diseño asistido por ordenador (CAD) obliga, a la vez facilita, la necesidad de la normalización. La normalización en la

presentación ahorra tiempo y dinero, a la vez que mejora el aspecto de los documentos y transmite sensación de profesionalidad.

La presentación final del proyecto estará en función de los deseos y características de la propiedad.

En cuanto al propio contenido de estos documentos, es decir, el contenido del proyecto debe ser tal que:

- El proyecto defina completamente la obra sin ambigüedades (ausencia futura de precios contradictorios).
- La ejecución del proyecto no debe exigir consultar más documentos que los propios del proyecto.
- El presupuesto real al final de la obra se mantenga en un entorno del +-5% del estimado inicialmente, siempre que no haya modificaciones ni aplazamientos. (Castillo, Teoría general del proyecto Volumen I, 1997)

2.1.7 Planos

Los planos son los documentos más utilizados que constituyen el proyecto y por ello han de ser suficientes, completos y concisos, es decir, deben incluir toda la información necesaria para ejecutar la obra objeto del proyecto en la forma más concreta posible y sin dar información inútil o innecesaria.

Los planos pueden ser generales o de detalle, y tanto para la ejecución de obra en campo como para aquellos elementos, equipos y conjuntos prefabricados en taller. Su número no debe prefijarse y habrá que desarrollar tantos como sean necesarios, teniendo en cuenta siempre que en la práctica es el único documento que se maneja en la obra durante el periodo de construcción. (Castillo, Teoría general del proyecto Volumen I, 1997)

2.2 Diseño de procesos

El equipo modular propuesto en esta tesis consiste funcionalmente en un sistema de calentamiento de agua. El proceso de calentar agua se puede llevar a cabo de muchas maneras, algunas mucho mejores que otras en términos prácticos. En el presente trabajó más que perseguir el fin de calentar agua de manera eficiente, se tomó como pretexto la operación de calentar agua para diseñar un sistema integral de flujo de fluidos con intercambio de calor y monitoreo y control de variables.

Tomando en consideración las diferentes maneras de calentar agua, se diseñó un proceso que en términos prácticos resulta funcionalmente ineficiente, sin

embargo, con la consigna de diseñar un proceso que fuese particularmente ambicioso académicamente hablando, el equipo propuesto termina siendo altamente eficiente para la comunidad estudiantil.

Una vez que se tiene seleccionado y definido el proceso, el siguiente paso corresponde en determinar cuál es la mejor disposición física que tendrán los componentes del proceso (equipos, tuberías, instrumentos). Una planta de proceso puede ser “ensamblada” de muchas maneras, las pautas que generalmente determinan el diseño de la planta son las limitaciones espaciales, limitaciones económicas, normatividad, regulaciones de seguridad y controles gubernamentales. Particularmente para este proyecto el proceso fue diseñado con la intención de integrar todos sus componentes en un equipo compacto y autónomo (modular) asemejando la tendencia actual de diseño industrial.

2.2.1 Diseño de plantas de proceso

El trabajo de diseño requerido en la ingeniería de un proceso químico puede ser dividido en 2 amplias fases:

1. Diseño de proceso

Abarca desde la selección del proceso a implementar hasta la emisión de diagramas de flujo de proceso, e incluye la selección, especificación y diseño de equipos. En una organización típica, esta fase es responsabilidad del grupo de diseño de procesos, y el trabajo es realizado principalmente por ingenieros químicos. El grupo de diseño de procesos también es responsable de los diagramas de tubería e instrumentación.

2. Diseño de planta

Abarca el diseño detallado mecánico, estructural, civil, y eléctrico, además de la especificación de servicios auxiliares. Estas actividades serán responsabilidad de grupos de diseño especializado. (Gavin Towler, 2008)

2.2.2 Diseño modular

La construcción modular consiste en un sistema cuyos elementos internos han sido prefabricados sin tener la intención de pertenecer exclusivamente a un sistema en particular. La organización y ensamble de estos elementos (módulos) deben de ir acorde a restricciones geométricas y constructivas. Es posible desarrollar sistemas completos construidos de manera modular, por ejemplo, casas prefabricadas o

inclusive construcciones más complejas como complejos industriales. (Gerald Staib, 2008)

2.3 Flujo de fluidos

El equipo modular está diseñado para que el agua que ha sido calentada sea restituida a su condición (temperatura) original para poder ser utilizada nuevamente en un ciclo de recirculación perpetua.

De manera física el sistema está compuesto por recipientes de almacenamiento y equipos de calentamiento y enfriamiento de agua interconectados por tuberías y bombas; estos dos últimos constituyen una de las partes fundamentales del proyecto: las bombas tienen la función de mantener en movimiento el agua y las tuberías tienen la función de servir como conductos de interconexión entre los componentes de almacenamiento y de intercambio de calor. El correcto dimensionamiento de tuberías, especificación de bombas, así como la configuración de rutas de distribución de fluidos (en este caso agua) representa uno de los puntos críticos en el diseño de procesos tanto en términos presupuestarios (costos) como técnicos (viabilidad).

2.3.1 Características de los fluidos

En general, la materia puede clasificarse por las formas físicas en que se presenta. Estas formas, conocidas como fases, son la sólida, la líquida y la de gas o vapor. Los fluidos comprenden las fases líquida o gaseosa (o de vapor) de la materia. Tanto los líquidos como los gases y vapores tienen en común una forma distinta de reaccionar cuando están sometidos a esfuerzos tangenciales, lo cual explica su *fluidez* y proporciona la clave básica para desarrollar los principios de la dinámica de los fluidos. (James E. Daily, 1975)

Es conveniente considerar 2 tipos de fluidos: compresibles e incompresibles. Estas características están determinadas por el espacio molecular, o fase, de la sustancia. (Bloomer, 2000)

- Los líquidos son considerados incompresibles excepto a presiones muy altas.
- Los vapores son gases por debajo de su temperatura crítica y son compresibles.
- Los gases son fluidos compresibles.

2.3.2 Dinámica de fluidos

La mecánica de fluidos es el estudio del comportamiento de los fluidos, ya sea que estén en reposo (estática de fluidos) o en movimiento (dinámica de fluidos). (Mott, 2006)

Hay dos métodos para el estudio de fluidos en movimiento. Uno es un método en el cual se sigue y analiza arbitrariamente alguna partícula del fluido y sus cambios inmediatos de velocidad y aceleración. Este método se llama Lagrangiano. El otro es un método en el cual, en lugar de seguir alguna partícula del fluido, los cambios en la velocidad y presión son estudiados en posiciones delimitadas en un espacio (x , y , z) y a un tiempo (t). Este método se llama Euleriano. En tiempos recientes el último método es más común y efectivo en la mayoría de los casos. (Nakayama, 1998)

Al movimiento de un fluido se le llama flujo. El flujo de un fluido puede clasificarse de muchas maneras, tales como turbulento, laminar; real, ideal; reversible, irreversible; permanente, no permanente; uniforme y no uniforme.

El flujo turbulento es el más frecuente en las aplicaciones prácticas de ingeniería. En esta clase de flujo las partículas del fluido se mueven siguiendo trayectorias muy irregulares originando un intercambio de momentum de una porción del fluido a otra.

Cualquiera que se la naturaleza del flujo, todas las situaciones de flujo están sometidas a los principios fundamentales siguientes:

- Los principios de Newton del movimiento se deben cumplir para toda partícula y en cualquier instante,
- La ecuación de continuidad, es decir, la ley de la conservación de la materia.
- El primero y segundo principios de la termodinámica.

Pueden intervenir otras relaciones y ecuaciones, tales como una ecuación de estado o la ecuación de Newton de la viscosidad. (Streeter, 1966)

2.3.3 Flujo de fluidos en tuberías

El transporte de fluidos es importante en el diseño de las plantas químicas de proceso, la red de tuberías y accesorios derivan en el 20-30% del costo total del diseño. (Coker, 2007)

Las características y complejidades de los patrones de flujo son tantas que muchos sistemas de flujo son descritos por varias funciones empíricas o semi empíricas. Éstas relacionan la caída de presión del sistema de flujo como función

de la tasa de flujo, geometría de la tubería, y de propiedades de los fluidos. El enfoque en el diseño de flujo de fluidos es elegir un tamaño y configurar un arreglo de tuberías que permita disminuir el gasto de inversión y de bombeo. Además, deben respetarse las restricciones de caída de presión y velocidades máximas permitidas en las tuberías de proceso.

La caída de presión o pérdidas de carga en un sistema de tuberías es ocasionada por elevación creciente del fluido, fricción y turbulencia resultante de cambios súbitos de dirección o de área de sección transversal. (Coker, 2007)

2.3.4 Sistemas de bombeo

En las industrias químicas y de proceso, es necesario bombear fluidos a través de largas distancias desde el almacenamiento hasta varias unidades de proceso y/o de una planta a otra. Consecuentemente habrá una sustancial caída presión por fricción en las tuberías y en las propias unidades de proceso. Es entonces necesario considerar el problema de calcular el requerimiento de poder de bombeo a través de una red de tuberías. (Chhabra, 1999)

Existe una amplia variedad de bombas que son designadas para varias aplicaciones específicas. Sin embargo, la mayoría de ellas pueden ser ampliamente clasificadas en dos categorías: desplazamiento positivo y centrífugo.

Las bombas de desplazamiento positivo están diseñadas para desplazar un volumen de fluido más o menos fijo por cada ciclo de operación. Están incluidas las bombas de pistón, diafragma, tornillo, engranes y varias más. Generalmente tienen capacidades de flujo limitadas, pero son capaces de manejar altas presiones. Estas bombas operan esencialmente a flujo constante y carga variable. Son apropiadas para requerimientos altos de presión, fluidos muy viscosos y procesos que requieran un preciso control de la tasa de flujo.

Las bombas centrífugas operan transmitiendo la energía (o momentum angular) de un impulsor al fluido. Estas bombas operan aproximadamente a carga constante y flujo variable, dentro de sus propios límites, claro está, determinado por el tamaño y diseño de la bomba y por el tamaño del motor. Las bombas centrífugas son las más adecuadas para líquidos "ordinarios" (con viscosidad baja o moderada) en un amplio rango de condiciones de flujo, es por esto que son el tipo más común de bombas.

Cuando se selecciona una bomba para una operación en específico (con el flujo y la carga ya definidos), se debe especificar el tipo apropiado de bomba, el tamaño y tipo de impulsor, además de la potencia y la velocidad del motor que hará "el mejor" trabajo. "El mejor" normalmente significa la operación más cercana al punto de mayor eficiencia de la curva de la bomba. (Darby, 2001)

2.4 Transferencia de calor

El equipo modular propuesto calienta de manera continua 10 litros de agua por minuto, esto lo realiza en un equipo de intercambio de calor de doble tubo. Particularmente para este trabajo, como la intención del equipo modular es satisfacer fines académicos y no funcionales, el agua calentada en lugar de ser utilizada en algún otro equipo y con el fin de no desperdiciarla, es recirculada al inicio del proceso para ser utilizada nuevamente. Para que el agua recupere las características originales es necesario enfriarla, para esto se utiliza un intercambiador de calor de efecto Peltier.

2.4.1 Mecanismos de transferencia de calor

La ciencia de la termodinámica trata de las transiciones cuantitativas y reacomodos de energía como calor en los cuerpos de materia. La ciencia de la transferencia de calor está relacionada con la razón de intercambio de calor entre cuerpos calientes y fríos llamados fuente y receptor.

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

- La conducción es la transferencia de calor a través de un material fijo.
- La convección es la transferencia de calor entre partes relativamente calientes y frías de un fluido por medio de mezcla.
- La radiación involucra la transferencia de energía radiante desde una fuente a un receptor. Parte de la energía se absorbe por el receptor y parte es reflejada por él.

Los procesos de transferencia de calor se relacionan con las razones de intercambio térmico tales como los que ocurren en equipos de transferencia de calor, tanto en ingeniería mecánica como en los procesos químicos. (Kern, 1999)

2.4.2 Intercambiadores de calor de doble tubo

Un intercambiador de calor es un dispositivo que es usado para transferir energía térmica (entalpía) entre dos o más fluidos, a través de una superficie sólida y un fluido, o entre partículas sólidas y un fluido, a diferentes temperaturas y en contacto térmico, usualmente sin una fuente de calor o trabajo exterior. Las aplicaciones

típicas involucran calentar o enfriar una corriente de fluido de interés, evaporación o condensación de un fluido puro o multicomponente, y recuperación de calor de algún sistema. En otras aplicaciones el objetivo puede ser esterilizar, pasteurizar, fraccionar, destilar, concentrar, cristalizar o controlar el fluido de proceso. (Rohsenow, 1998)

El intercambiador de calor de doble tubo es uno de los equipos más simples cuya tarea sea realizar intercambio de calor de manera continua entre dos fluidos. (Cao, 2010)

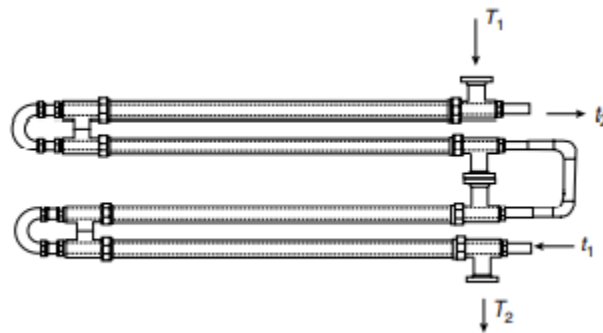


Figura 1 Intercambiador de calor de doble tubo con 2 horquillas.

Las partes principales son dos juegos de tubos concéntricos, dos tes conectoras, un cabezal de retorno y un codo en U. La tubería interior se soporta en la exterior mediante estoperos y el fluido entra al tubo interior a través de una conexión roscada localizada en la parte externa del intercambiador. Las tes tienen boquillas o conexiones roscadas que permiten la entrada y salida del fluido del ánulo que cruza de una sección a otra a través del cabezal de retorno. La tubería interior se conecta mediante una conexión en U que está generalmente expuesta y que no proporciona superficie de transferencia de calor. Cuando se arregla en dos pasos, la unidad se llama horquilla.

El intercambiador de calor de doble tubo es extremadamente útil, ya que se puede ensamblar en cualquier taller de plomería a través de partes estándar, proporcionando superficies de transferencia de calor a bajo costo. La principal desventaja en el uso de los intercambiadores de calor de doble tubo es la pequeña superficie de transferencia de calor contenida en una horquilla simple. (Kern, 1999). Sería necesario una gran cantidad de horquillas para la mayoría de aplicaciones industriales. (Cao, 2010)

2.4.3 Efecto Peltier

El campo de la termoelectricidad ha adquirido nuevos ímpetus a lo largo de las últimas décadas, obteniendo relevancia por el hecho de que las reservas fósiles son limitadas y de la creciente preocupación del impacto ambiental asociado con la producción de energía y su uso.

Aquella electricidad que puede ser generada directamente a partir de calor fue descubierta por Seebeck en 1821. Once años después, Peltier (1834) reportó que el calor es absorbido o generado entre la unión de dos diferentes conductores cuando una corriente eléctrica fluye a través de los mismos. Este efecto ha sido implementado en enfriadores y calentadores termoeléctricos.

En años recientes, ha habido importantes desarrollos en el diseño y fabricación de nuevos dispositivos termoeléctricos. Los métodos modernos han permitido la combinación controlada de diferentes materiales, mismos que influyen en diversos factores para incrementar la eficiencia en general. Derivado de lo último, la termoelectricidad se ha convertido en un campo multidisciplinario, requiriendo el trabajo de físicos, químicos y metalúrgicos.

Los dispositivos termoeléctricos son motores termodinámicos sin partes móviles que pueden ya sea convertir calor en electricidad (efecto Seebeck) o usar electricidad para extraer calor (efectos Peltier y Thomson).

La actual preocupación ambiental, ha desatado el interés en estos sistemas de transformación de calor residual en electricidad. Sin embargo, su baja eficiencia no lo hace económico, y muchas de sus aplicaciones se han limitado al enfriamiento de volúmenes pequeños, en particular para componentes eléctricos y microcomputadoras. Se vuelve claro entonces que, si los dispositivos termoeléctricos quisieran un papel en la búsqueda de la sustentabilidad, su desempeño debe de ser complementado y mejorado. (Veljko Zlatic, 2014)

2.5 Ingeniería eléctrica y electrónica

Además de los recipientes de almacenamiento y de los equipos de transferencia de calor, el equipo modular cuenta con una subestación eléctrica y electrónica, en la cual se resguarda la computadora de control, el circuito de interconexión de los sensores y la terminal de interruptores manuales.

El equipo modular cuenta con monitoreo de 22 variables de proceso en tiempo real. Los sensores están instalados en diferentes partes del equipo modular, y el cableado respectivo de cada uno de estos sensores converge en el circuito de interconexión de la subestación eléctrica.

Las señales obtenidas cada segundo de los sensores son transmitidas a la computadora de control para posteriormente ser presentadas al operador del equipo modular ya sea a través del monitor de la computadora de control de manera remota o de alguno de los cinco puertos de monitoreo local que están instalados cerca de los sensores.

2.5.1 Instalaciones eléctricas

Se la llama instalación eléctrica al conjunto de elementos que permiten transportar y distribuir la energía eléctrica desde el punto de suministro hasta los equipos que la utilizan. Entre estos elementos se incluyen: tableros, interruptores, transformadores, bancos de capacitores, dispositivos sensores, dispositivos de control local o remoto, cables, conexiones, contactos, canalizaciones y soportes.

Las instalaciones eléctricas pueden ser abiertas (conductores visibles), aparentes (en ductos o tubos), ocultas (dentro de paneles o falsos plafones), o ahogadas (en muros, techos o pisos).

Una instalación eléctrica debe distribuir la energía eléctrica a los equipos conectados de una manera segura y eficiente. Además de ser económica, flexible y de fácil acceso.

Una instalación segura es aquella que no representa riesgos para los usuarios ni para los equipos que alimenta o que están cerca.

Los proyectos de ingeniería tienen que considerar las implicaciones económicas. Esto quiere decir que el ingeniero, frente a cualquier proyecto, debe pensar su realización con la menor inversión posible. Hipotéticamente hablando, la mejor solución a un problema de instalaciones eléctricas debería ser única: la ideal.

Una instalación bien diseñada debe tener las previsiones necesarias para permitir el acceso a todas aquellas partes que pueden requerir mantenimiento, además de que cuente con todos los elementos que permitan entender el diseño de la instalación, es decir, la especificación completa y todos los planos y diagramas necesarios. (Neagu Bratu, 1995)

2.5.2 Sistemas análogos y digitales

El procesamiento de señales es una importante área de interés para todo ingeniero. El reconocimiento de patrones y clasificación está en primer lugar de la lista. (Yarlagadda, 2010)

Las cantidades análogas varían continuamente, y los sistemas análogos representan la información análoga utilizando señales eléctricas que varían suave y continuamente a lo largo del tiempo.

Las cantidades digitales varían en niveles discretos. En la mayoría de los casos, los niveles discretos son sólo dos valores on/off. Los sistemas digitales llevan la información usando combinaciones de señales eléctricas on/off usualmente en forma de código que represente la información. Los niveles on/off son más comúnmente identificados como 1 (uno) y 0 (cero). (Luecke, 2005)

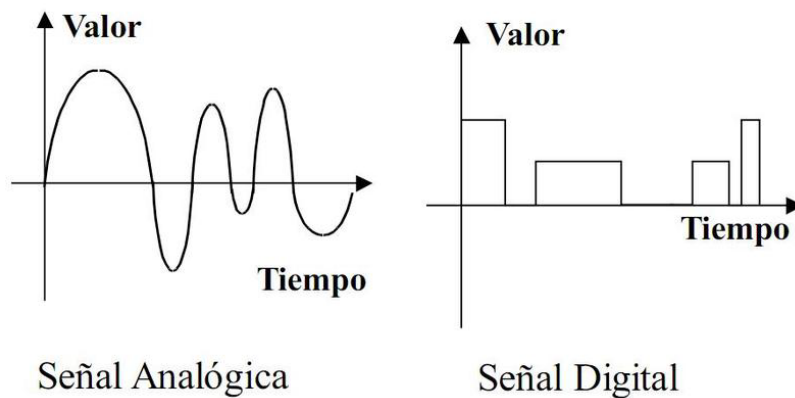


Figura 2 Tipos de señales.

La mayoría de las señales son análogas. El procesamiento de señales análogas utiliza elementos de circuitos análogos, tal como resistores, capacitores, inductores, y componentes activos, tal como amplificadores operacionales y dispositivos no lineales. El procesamiento análogo es una manera natural de resolver ecuaciones diferenciales que describan sistemas físicos, sin necesidad de recurrir a soluciones aproximadas. Dichas soluciones son obtenidas en tiempo real.

El procesamiento de señales digitales hace uso de una computadora de propósito especial, la cual tiene tres elementos básicos, llamados sumadores, multiplicadores y memoria para almacenamiento. El procesamiento de señales digitales consiste en cálculos numéricos, y no se garantiza que el procesamiento pueda ser hecho en tiempo real.

La aproximación digital tiene ventajas distintivas sobre la análoga. Un procesador digital puede ser usado para implementar diferentes versiones de un sistema al cambiar el software del procesador. Tiene flexibilidad y repetibilidad. En el caso análogo, el sistema tiene que ser rediseñado cada vez que las especificaciones cambian. (Yarlagadda, 2010)

2.5.3 Protocolos de comunicación

La comunicación de datos es el proceso de transferir información entre dos lugares de manera tal que pueda ser procesada por equipos de comunicación. También es conocida como comunicación computacional.

Todo tipo de información puede ser transportada por sistemas de comunicación de datos, el principio básico siempre es el mismo: la información es convertida a la forma adecuada para posteriormente ser transferida a través de un canal de comunicación. (Simmonds, 1997)

En la comunicación digital, la información que está siendo transferida está representada de manera digital, comúnmente como dígitos binarios o bits. Esto en contraste a la información análoga, la cual varía en un rango de valores. En la actualidad la mayoría de sistemas usados para transferir información son ya sea digitales o son convertidores análogos a digitales. (Madhow, 2008)

La transmisión *serial* es el método adoptado por la mayoría de los sistemas de comunicación de datos. La transferencia de datos de manera serial se refiere al envío de cada bit a lo largo de un simple circuito (señal y tierra) de manera secuencial, bit por bit. (Simmonds, 1997)

2.6 Dinámica y control de procesos

Para determinar la temperatura a la que se desea calentar el agua de proceso, el equipo modular tiene la característica autorregularse a sí mismo a través de un sistema de control. El operador participa de manera activa durante el arranque del equipo modular, pero su papel se vuelve el de un supervisor una vez alcanzado el régimen permanente; en este momento el equipo modular controlará la temperatura de salida del agua en función de las condiciones de operación definidas por el operador (*setpoint*) con ayuda de una válvula de control.

2.6.1 Sistemas dinámicos

El término “dinámica de procesos” se refiere al comportamiento de estado inestable (o transitorio) de un proceso. Las operaciones transitorias ocurren durante situaciones importantes del proceso, como arranques y paros, perturbaciones inusuales del proceso y transiciones de un grado de producto a otro.

El objetivo principal del control de procesos es mantener un proceso en las condiciones de operación deseadas, de manera segura, económica, y al mismo

tiempo, satisfaciendo al medio ambiente y a las especificaciones de calidad del producto. (Seborg, 1990)

Resulta útil definir de manera general algunos conceptos y términos utilizados en el campo de la dinámica:

- Dinámica. Proceso cuyo comportamiento depende del tiempo. El comportamiento de un sistema sin controladores se llama respuesta en lazo abierto. El comportamiento de un sistema con controladores se llama respuesta en lazo cerrado.

-Variable manipulada. Típicamente proporciones de flujos o corrientes entrantes o salientes de un proceso que se pueden cambiar o manipular para controlar la planta.

-Variable controlada. Flujos, composiciones, temperaturas, niveles y presiones del proceso que buscarán ser controladas, ya sea manteniéndolas constantes o intentando que sigan determinada trayectoria a lo largo del tiempo.

-Perturbación. Aquellas variables de las que no se tiene la libertad de manipularlas. El sistema de control debe ser capaz de mantener a la planta bajo control a pesar de las perturbaciones. (Luyben, 1997)

2.6.2 Lazos de control

En el control en lazo abierto, la acción de control (la señal de salida del controlador) no es función de la variable de proceso. El control en lazo abierto no se auto corrige cuando la variable de proceso varía, y esto puede resultar en una gran desviación del valor óptimo de la variable de proceso.

En el control en lazo cerrado, el objetivo de control, la variable de proceso, es usada para determinar la acción de control. El control en lazo cerrado está diseñado para obtener y mantener las condiciones de proceso deseadas al compararlas con la condición deseada, el valor de punto de ajuste (setpoint). La mayoría de los lazos de control cerrados pueden controlarse de 3 formas, de forma proporcional (P), integral (I) y derivativa (D); ya sea de manera combinada o por separado. (Altmann, 2005)

2.6.3 Estrategias de control

La manera tradicional de controlar un proceso (control *feedback*) es medir la variable que será controlada, comparar su valor (el setpoint del controlador), y retroalimentar la diferencia (el error) a un controlador *feedback* que cambie el valor de la variable

manipulada para emparejar el valor de la variable controlada con el valor deseado. Las acciones son ejecutadas después de que un cambio ocurre en el proceso.

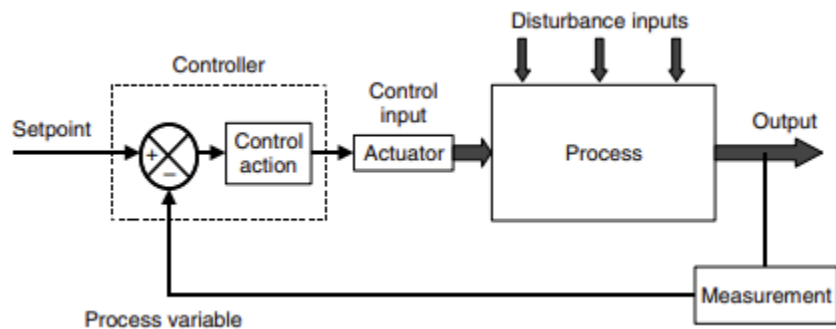


Figura 3 Lazo de control feedback.

En el control *feedforward*, la idea básica es tomar acciones antes de que la perturbación intervenga en el proceso. La perturbación es detectada tan pronto entra al proceso y se realiza un cambio apropiado en la variable manipulada para mantener constante a la variable controlada. Entonces, se comienzan a tomar acciones correctivas tan pronto una perturbación es detectada al entrar al sistema en lugar de esperar (como ocurre en control feedback) que la perturbación se propague por todo el proceso antes de que un ajuste sea realizado. (Luyben, 1997)

2.6.4 Instrumentos, monitoreo y automatización

La operación de complejas plantas industriales sería difícil, por no decir imposible, sin la medición y control de las variables críticas del proceso. Las plantas más grandes típicamente tienen miles de variables de proceso que son medidas constantemente en tiempo real cada determinados segundos o minutos. Consecuentemente, el diseño y mantenimiento de sistemas de monitoreo precisos y confiables es un aspecto crítico del control de procesos.

Una variable física es medida por un *sensor* el cual produce una respuesta física (eléctrica o mecánica) relacionada con el valor de la variable de proceso. Por ejemplo, un sensor de temperatura genera una señal eléctrica en milivolts que incrementa en función del incremento de temperatura. Para que esta medición de temperatura pueda procesarse en los cálculos del controlador, la señal en milivolts debe ser convertida a una señal de voltaje o corriente dentro del rango de entrada del controlador. Esta conversión es realizada por un *transmisor*.

A veces es necesario convertir la señal de un instrumento de un tipo a otro. El dispositivo que realiza esto se llama *transductor*. Una aplicación común es cuando la señal de salida del controlador es una señal de corriente eléctrica y el

elemento final de control es una válvula neumática. La conversión se realiza en un transductor de corriente a presión (I/P).

Todos los lazos de control deben contener un elemento final de control, mismo que permita a alguna de las variables de proceso a ser manipuladas. Para la mayoría de los procesos químicos, el elemento final de control es usualmente una válvula de control o una bomba de velocidad variable. (Seborg, 1990)

2.6.5 Válvulas de control

Las válvulas de control son el elemento final de control más común. Realizan la acción del sistema de control de ajustar los flujos que afectan a las variables controladas. Los aspectos más importantes de las válvulas de control son: la selección de su acción y su posición a falla, su capacidad y tamaño, sus características de flujo, su ganancia, y su función de transferencia.

Una válvula de control actúa como una restricción de variable en una tubería de proceso. Al cambiar su nivel de apertura, cambia la resistencia al flujo y por lo tanto al flujo en sí mismo. La señal de salida del controlador posiciona la válvula, determinando el nivel de apertura, que a su vez determina el grado de restricción del flujo. (Armando B. Corripio, 1997)

Una válvula de control requiere un actuador capaz de posicionar la parte móvil de la válvula en algún valor entre los dos extremos de la misma, que son completamente abierta y completamente cerrada. Los actuadores son generalmente clasificados dependiendo de la fuente de la fuerza posicionadora; neumática, eléctrica y ocasionalmente hidráulica. (Smith, 2009)

2.7 Herramientas computacionales

El equipo modular se controla a través de una interfaz gráfica de usuario (GUI), es decir, a través de un programa de computadora. Todos los sensores están vinculados con este programa de computadora, y a cada segundo mandan sus respectivas mediciones para poder ser visibles para los operadores. Para conectar los sensores con la computadora se utiliza como plataforma de enlace tarjetas electrónicas de Arduino, las cuales, de entre sus muchos usos, permiten ser utilizadas como controladores lógicos programables (*PLC*).

La interfaz gráfica de usuario fue programada con la intención de servir como:

-Terminal central de monitoreo.

- Medio asistido de arranque y paro de operaciones.
- Terminal de control de válvulas de control, válvulas solenoide, bombas y demás equipo eléctrico.

La interfaz gráfica de usuario pretende asemejarse a un sistema de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) y fue programada en el entorno *App Designer* del software *Matlab*.

2.7.1 Arduino

Arduino™ es una plataforma electrónica de código abierto (*open source*) diseñada para facilitar la integración hardware-software. Las placas de Arduino son capaces de leer entradas de datos (medición de un sensor, activación de un botón) y convertirlo en una salida de datos (activación de un motor, encendido de un led).

La versión estándar (UNO) del hardware de Arduino está basado en el chipset Atmega8, un microcontrolador de 28 pines, con un total de 20 entradas y salidas (I/O).

Arduino cuenta con su propio entorno integrado de desarrollo (IDE), este software de programación es utilizado para cargar el código al microcontrolador de la placa de Arduino. El lenguaje de Arduino es una variante de C++. (Warren, 2011)

2.7.2 Matlab

Matlab™ (laboratorio de matrices) es un entorno de desarrollo integrado (IDE) con aplicaciones orientadas al cómputo y visualización científica. Está escrito en lenguaje C y es distribuido por MathWorks™ (Quarteroni, 2001)

El diseño y análisis de control requiere muchos cálculos de álgebra lineal (multiplicación de matrices, inversión de matrices, cálculo de valores propios y vectores propios), los cuales no son fáciles de realizar a mano aparte de ser tediosos. Sin embargo, estas operaciones repetitivas pueden ser implementadas fácilmente en una computadora con el uso de técnicas de programación. Un lenguaje de programación de alto nivel bastante útil para realizar tales tareas es Matlab, el cual no sólo brinda las herramientas para la resolución de operaciones con matrices, sino que también cuenta con muchas otras funciones útiles, como la integración en función del tiempo de ecuaciones diferenciales lineales y no lineales, cálculos que son invaluable en el diseño y análisis de controladores modernos. (Tewari, 2002)

2.7.3 App Designer

App Designer™ de Matlab es un entorno de desarrollo interactivo (IDE) utilizado para el desarrollo de la apariencia y funcionalidad de una aplicación. App Designer permite el uso íntegro de las funcionalidades del editor de Matlab, además de una gran cantidad de componentes para UI (Interfaz de usuario). Las aplicaciones generadas se pueden compilar para ejecutarse de manera autónoma (*stand alone*), ya sea como aplicación de escritorio o como aplicación web.

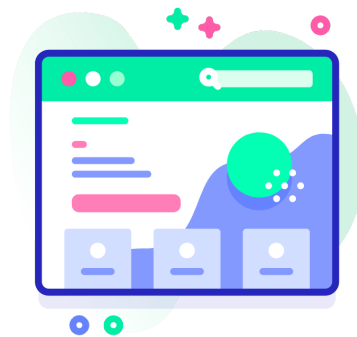
2.7.4 Interfaz gráfica de usuario (*Graphical User Interface, GUI*)

Una *interfaz de usuario* es una colección de técnicas y mecanismos para interactuar con algo. En una *interfaz gráfica*, el mecanismo de interacción primario es un dispositivo cursor del algún tipo. Este dispositivo es el equivalente electrónico a una mano humana.

La interfaz gráfica de usuario es lo más importante de un sistema computacional, ya que resulta ser el sistema como tal para la mayoría de los usuarios. Puede ser visto, puede ser escuchado, y puede ser tocado. Los montones de líneas de código de la interfaz son invisibles, están ocultos detrás de la pantalla, del teclado y del ratón. El objetivo del diseño de interfaces es simple: hacer el trabajo de la computadora fácil, productivo y disfrutable. (Galitz, 2007)



COMMAND LINE
INTERFACE



GRAPHICAL USER
INTERFACE

Figura 4 Interfaz de líneas de comandos vs Interfaz gráfica de usuario

3. Planteamiento del problema

1. Derivado de la tendencia de automatización digital de procesos industriales y demanda de profesionistas afines a dichas tecnologías, resulta menester la canalización del enfoque de la comunidad académica a cuestiones que no sólo se limiten a tecnologías pasadas o exclusivas del área, sino más bien con apego a la innovación tecnológica con aplicaciones en ingeniería química.

2. A lo largo de la carrera de ingeniería química no se cuenta con una metodología estandarizada de trabajo y documentación al momento de desarrollar proyectos de ingeniería.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Desarrollar un proyecto de ingeniería química con alcance multidisciplinario, elaborando la ingeniería conceptual, ingeniería básica, ingeniería de detalle e ingeniería de procura, sobre la propuesta de un equipo modular de flujo de fluidos e intercambio de calor íntegramente monitoreado y automatizado, y de esta manera formalizar la práctica de planeación y documentación estandarizada de proyectos de ingeniería.

4.2 Objetivos específicos

- Planear y administrar documentos y actividades necesarias en la elaboración del equipo modular.
- Planear y diseñar los sistemas de flujo de fluidos y bombeo.
- Planear, diseñar y seleccionar recipientes de proceso.
- Planear, diseñar y construir los sistemas de intercambio de calor.
- Planear, diseñar y construir los sistemas eléctricos y electrónicos.
- Planear e implementar sistemas de monitoreo y control (temperatura, presión, nivel, flujo, velocidad, intensidad y posición)
- Implementar una interfaz gráfica de usuario (GUI) para la operación del equipo modular.

5. Materiales y métodos

5.1 Concepción

La concepción del proyecto consistió en proponer qué hacer, cómo, y para qué. Durante esta etapa la idea del proyecto no se mantuvo inflexible y se terminó de delimitar después de un análisis de posibilidades y limitaciones técnicas y económicas.

La primera idea que se tenía del proyecto consistía en un modelo experimental a escala laboratorio que emulaba una operación unitaria, cuyo objetivo era la implementación de sensores con salida digital y registro de datos de manera automática por computadora; todo esto con la finalidad de remplazar o complementar la tradicional práctica del registro manual de datos en una bitácora.

Sí bien, no era una idea nueva, tenía validez puesto que a nivel académico es de práctica común para la medición de variables el uso de termómetros de mercurio, manómetros con carátula impresa, tiras de pH o vidrios de nivel, y no resulta tan común el uso de instrumentos de medición automáticos comerciales debido al elevado precio de los mismos. La propuesta del proyecto era el uso de placas electrónicas de Arduino a manera de *PLC* como solución accesible y económica.

Al ser un proyecto que buscaba mejorar una práctica habitual y no buscaba resolver un problema en específico, siempre se tuvo flexibilidad en cuando a la definición de los alcances de los objetivos a cumplir y no había razón para delimitarlos. La idea original fue atravesando numerosos ajustes dando como resultado versiones preliminares, las cuales a su vez se fueron replanteando y ajustando para tratar de encontrar la sinergia correcta entre dimensiones del equipo, operación, instrumentación, trascendencia y costo; modificando la idea original poco a poco hasta llegar a su versión final.

En la primera versión preliminar (Mark I) se había establecido que las dimensiones serían re-escaladas para ajustarse a proporciones planta piloto y que sería construido en forma modular, es decir, como un solo equipo compacto y autónomo que no tendría la necesidad de armarse y desarmarse como es una práctica de laboratorio. Se definió la operación que

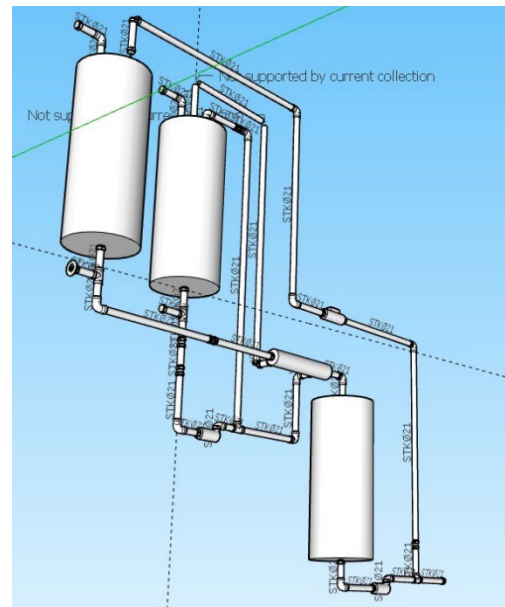


Figura 5 Equipo modular Mark I.

desempeñaría el equipo modular tratando de abarcar conceptos de tantas asignaturas de la carrera de ingeniería química como fuese posible, eso sin olvidar la consigna original; que el monitoreo y el control fuese automático.

En la segunda versión preliminar (Mark II) se comenzó de manera superficial con la documentación, con la simulación y con el diseño de equipos. El resultado de estas acciones insinuó que había demasiadas incongruencias operacionales y que era necesario realizar numerosas modificaciones.

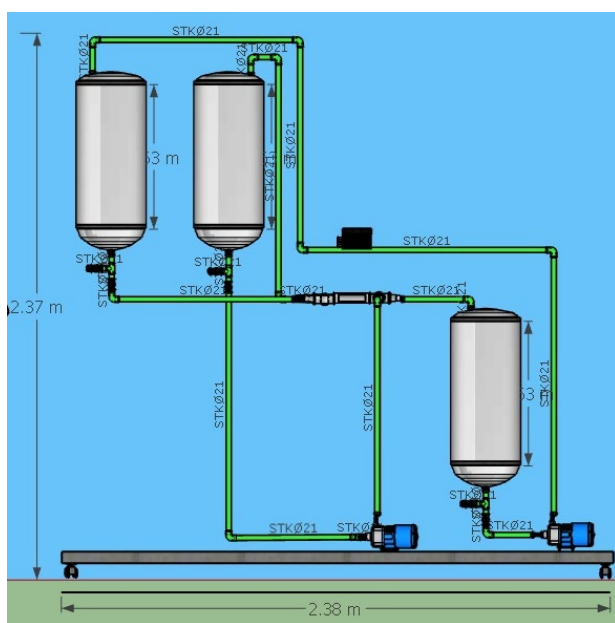


Figura 6 Equipo modular Mark II.

En la tercera versión preliminar (Mark III), la cual por mucho tiempo erróneamente se consideró la definitiva, se buscó afinar detalles individuales de diseño, integrar todos los sistemas (estructural, hidráulico, térmico, instrumental y digital) como uno solo y garantizar la operación deseada. Durante esta etapa se comenzó el desarrollo de la interfaz gráfica de usuario (GUI), tanto en apariencia como en funcionalidad (primeramente se diseñó para servir únicamente como terminal de monitoreo, pero eventualmente también como terminal de control).

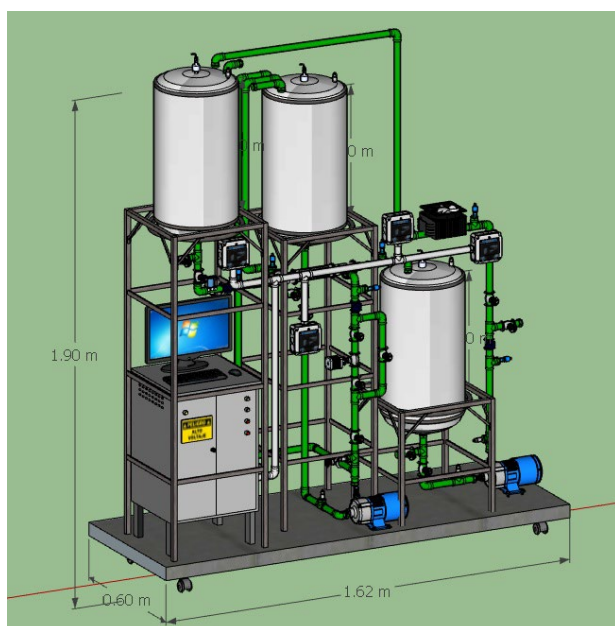


Figura 7 Equipo modular Mark III.

En la cuarta versión preliminar (Mark IV) se corrigieron aquellas consideraciones que habían surgido de premisas optimistas (por ejemplo calentar 30 L/min de agua en un intercambiador de calor de 30 cm de longitud), se establecieron medidas y dimensiones semi definitivas, se ajustó la estrategia de control por última vez (resolviendo los problemas por los que era necesario modificarla), se afinó el proceso operativo (a uno menos ambiguo pero sin perder la objetividad principal) y se corrigieron las incompatibilidades que aún había entre los sistemas térmico, estructural, hidráulico y electrónico.

En la versión final (Mark V) se establecieron medidas y dimensiones definitivas, además de los acabados para todos los demás sistemas.

Las características principales resumidas de la versión final (Mark V) pueden ser consultadas en el Anexo 2 Ingeniería Básica, 2.20 Especificaciones generales. El proceso de forma detallada en el Anexo 2 Ingeniería Básica 2.3 Descripción del Proceso, 2.7 Diagrama de Flujo de Proceso.

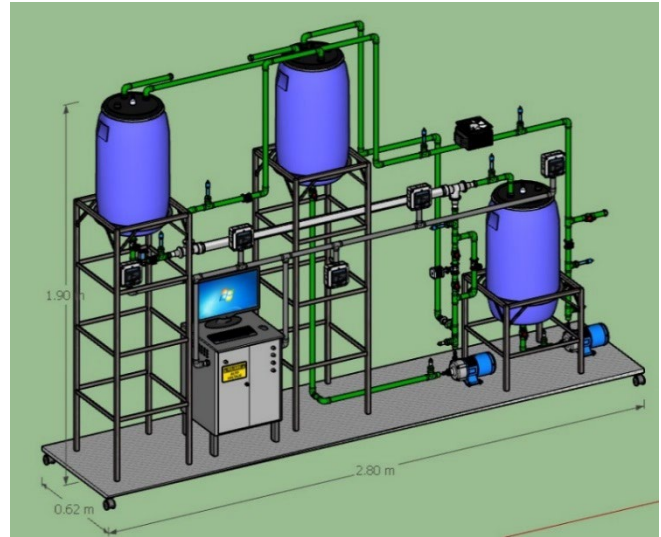


Figura 8 Equipo modular Mark IV.

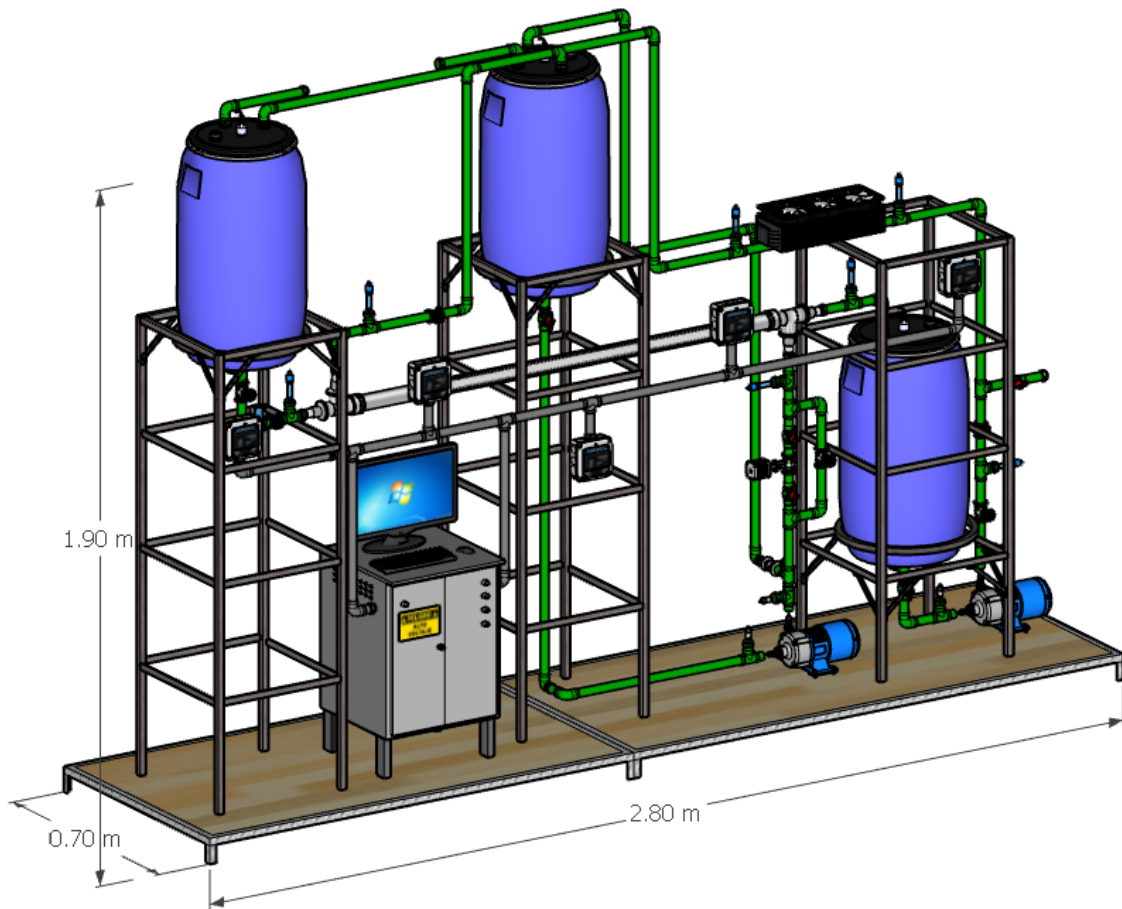


Figura 9 Equipo modular Mark V.

5.2 Planeación

El proyecto buscó ser desarrollado afín a la manera de trabajar de las firmas de ingeniería, en las cuales el jefe de proyecto destina tiempo y recursos a los diferentes departamentos especializados (instrumentos, hidráulicos, etc.) para el desarrollo específico de actividades. En el campo ingenieril resulta conveniente trabajar así porque hay trabajos que pueden realizarse de manera simultánea, obteniendo ahorros de tiempo y recursos.

Inconvenientemente en el presente trabajo al tratarse de un proyecto realizado por una sola persona, esta manera de trabajar se vio modificada para adecuarse a las circunstancias.

El trabajo se dividió en secciones dependiendo de su naturaleza, las cuales son: diseño estructural, diseño hidráulico, diseño térmico, diseño eléctrico, diseño electrónico-mecánico, diseño digital y formato documental. A cada una de estas categorías se les asignó determinada cantidad de tiempo, así como a las subactividades que debían ser desarrolladas dentro de cada una. Particularmente se asignó más tiempo y flexibilidad sobre aquellos temas que son ajenos al plan de estudios de ingeniería química y debían ser aprendidos.

Dentro de cada una de estas categorías se trabajó siguiendo el siguiente esquema:

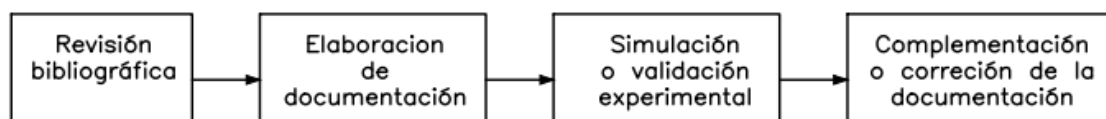


Figura 10 Esquema de progresión de actividades.

Originalmente se planteó trabajar cada sección por separado, e iniciar la siguiente sección al terminar la anterior, pero se encontraron problemas al momento de la integración de todos los sistemas (por ejemplo la ocupación de una estructura y una tubería en el mismo espacio), y se optó por jerarquizar alguna particularidad de las secciones dependiendo de su importancia operacional y trabajar un poco sobre cada sección paralelamente, tomando en cuenta no solo las limitaciones propias del sistema trabajado en cuestión sino las de todos los sistemas simultáneamente.

En la siguiente imagen se muestra la planeación de las actividades de manera resumida:

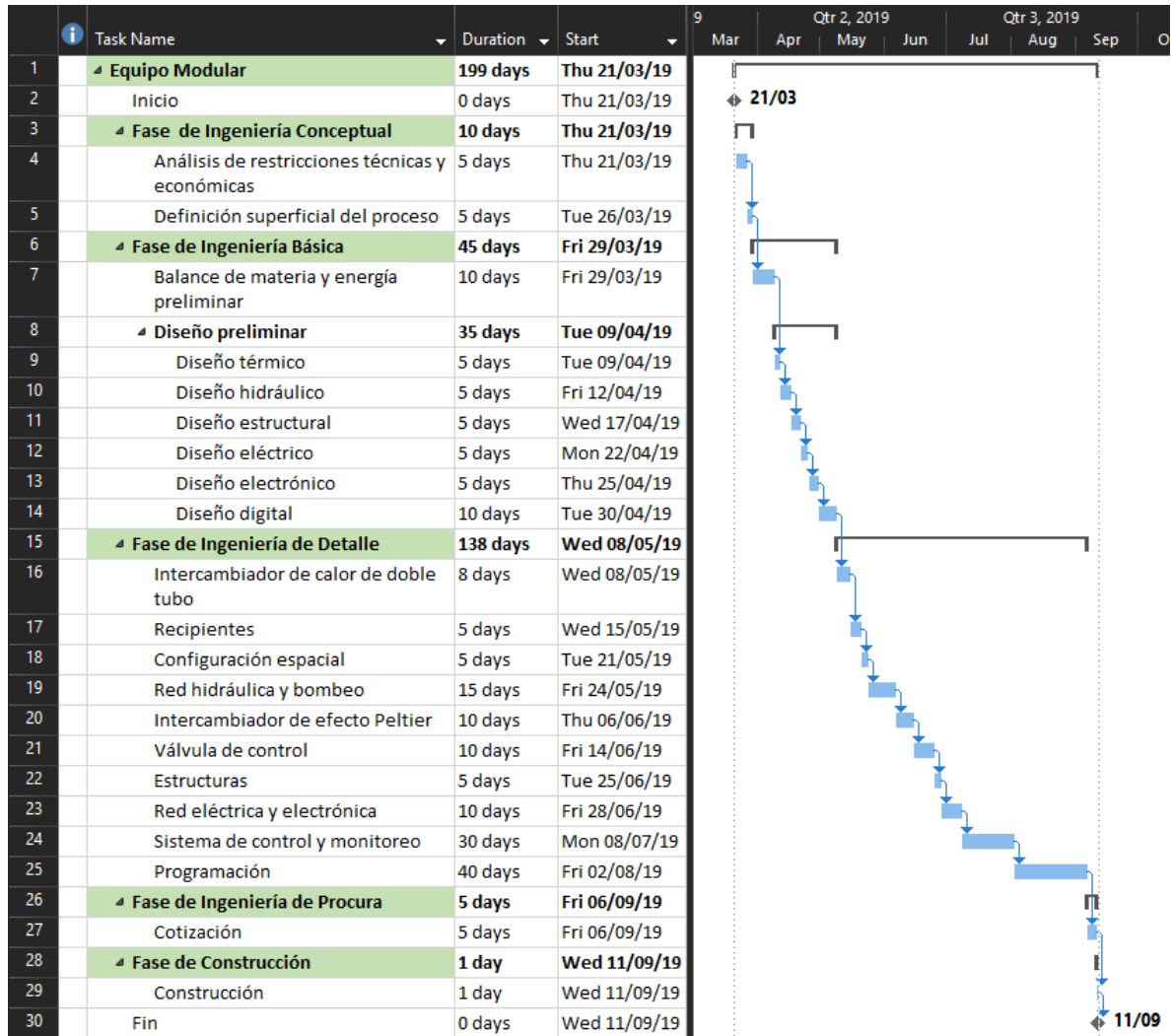


Figura 15 Diagrama de Gantt del proyecto

Al inicio del proyecto se asignaron semanas en general para cada rubro y no para sub actividades en específico.

La planificación con actividades específicas de manera detalla puede consultarse en el Anexo 4 Ingeniería de Procura.

5.3 Diseño

Para el diseño del equipo modular se hizo un análisis sobre lo que se quería conseguir y sobre las limitaciones que se tenían para realizarlo. Las dos limitaciones principales eran la incompatibilidad operacional y el precio de los equipos e instrumentos.

En muchas industrias la base de cálculo de diseño viene dada por la demanda, es decir, por la cantidad y características del producto que se quiere producir (por ejemplo, la producción de tantos L/hr a tantos °C y a tantos Psi de alguna sustancia), de esta manera se diseñan equipos que puedan satisfacer esa demanda. En el proyecto actual la base de cálculo, al no tener que adaptarse a una demanda, fue determinada al encontrar la mejor combinación entre las características de los equipos e instrumentos disponibles y su precio, siempre y cuando se garantizara la operación íntegra del proceso.

Primeramente, se seleccionaron equipos de bajo costo que desempeñaban una función esencial, después se seleccionaron instrumentos de bajo costo que cumplieran con el rango de trabajo del equipo seleccionado y por último se garantizó que el trabajo de los sensores y de los equipos pudiese integrarse como proceso.

El mejor balance que se obtuvo después del análisis, versiones preliminares descartadas y después de experimentación y simulación superficial dio como resultado las siguientes premisas:

- Trabajar con agua como fluido de proceso y también como fluido de servicio. Esto debido a la disponibilidad y propiedades fisicoquímicas que ofrece la misma, además de que permite trabajar con muchos materiales para recipientes, tuberías y sensores.
- Trabajar en un rango de flujo entre 5 y 30 L/min para satisfacer la necesidad mínima de succión de las bombas y la capacidad máxima de medición de los sensores de flujo.
- Trabajar con recipientes atmosféricos con capacidad suficiente para garantizar margen de tiempo de residencia (*Hold-Up*) y evitar que las bombas se queden sin succión. También para que los recipientes no se desbordaran durante alguna operación anormal.
- Operar en un rango de 25 a 80°C para evitar dañar sensores de flujo, nivel y presión, además de evitar cambios de fase durante el bombeo.

Información detallada puede consultarse en el Anexo 2 Ingeniería Básica, 2.1 Bases de Diseño, 2.2 Criterios de Diseño.

Como se mencionó en el capítulo anterior, para el diseño se jerarquizó particularidades de los sistemas para evitar incongruencias operacionales. El orden que se siguió para el diseño fue:

1. Diseño del intercambiador de calor de doble tubo
2. Dimensionamiento de recipientes
3. Configuración espacial (*LayOut*)
4. Dimensionamiento de tuberías, distribución hidráulica y sistema de bombeo
5. Diseño del intercambiador de calor de efecto Peltier y válvula de control
6. Dimensionamiento estructural y soportes de tuberías
7. Configuración y distribución eléctrica y electrónica
8. Programación

1. El intercambiador de calor de doble tubo, al ser la operación principal del equipo modular, fue el punto de partida de diseño. Todos los demás sistemas se dimensionaron de tal manera que se adecuasen a las características y restricciones del intercambiador de calor, éste se diseñó con un algoritmo de 21 pasos, utilizando 9 parámetros:

- Flujo del fluido frío = 10 L/min
- Temperatura inicial del fluido frío = 24°C
- Temperatura final del fluido frío = 30°C
- Flujo del fluido caliente = 11 L/min
- Temperatura inicial del fluido caliente = 80°C
- Temperatura final del fluido caliente = 76°C

- Diámetro del tubo (tubo interno) = 1”
- Diámetro del ánulo (tubo externo) = 1 ½ “
- Longitud del tubo (recto) = 120 cm

Estos parámetros fueron primeramente propuestos asumiendo las restricciones operativas y se fueron modificando después de numerosas iteraciones buscando encontrar el equilibrio entre el rango de temperaturas y la obtención de dimensiones finales moderadas.

La secuencia de cálculo detalla de la iteración final, así como los planos del intercambiador de calor de doble tubo se pueden consultar en el Anexo 3 Ingeniería de Detalle 3.6 Intercambiador de Calor de Doble Tubo, 3.8 Memoria de Cálculo Térmico.

2. La función principal de los recipientes atmosféricos dentro del equipo modular es de reservorio de líquido (*Buffer*), es decir, mantienen cantidad de suministro constante para el intercambiador de calor de doble tubo, y proveen nivel de líquido suficiente para que las bombas no se queden sin succión en ningún momento durante la operación. Además, como se integraron en un circuito cerrado de recirculación, no es necesario utilizar demasiada agua.

Originalmente se pensó construirlos en acrílico, pero se descartó la idea debido al elevado precio del material. En lugar de esto se optó por una conveniente adquisición y modificación de recipientes de polietileno de 60L que normalmente son de uso común para el almacenaje de algunas sustancias químicas no corrosivas.

Las características de los recipientes pueden ser consultadas en el Anexo 2 Ingeniería Básica 2.8 Hojas de Datos de Equipos, y las dimensiones y ubicación de boquillas y accesorios en el Anexo 3 Ingeniería de Detalle 3.1A/B/C Diseño de Recipientes.

3. El espaciamiento y disposición espacial de los equipos se configuró tomando en cuenta las siguientes 3 premisas:

- Minimizar las longitudes totales del equipo como módulo. Con el mejor arreglo se consiguió compactar el equipo modular en un espacio de 2.8 m de largo, 0.7 m de ancho y 1.9 m de alto.
- Accesibilidad para la manipulación de válvulas, equipo eléctrico y electrónico desde la parte frontal del equipo.
- Seguridad para los operadores y equipos.

La configuración espacial representó uno de los puntos de inflexión entre seguir trabajando sobre una versión preliminar, o descartarla y replantear una nueva. Las maquetas electrónicas fueron realizadas en el software SketchUp™.

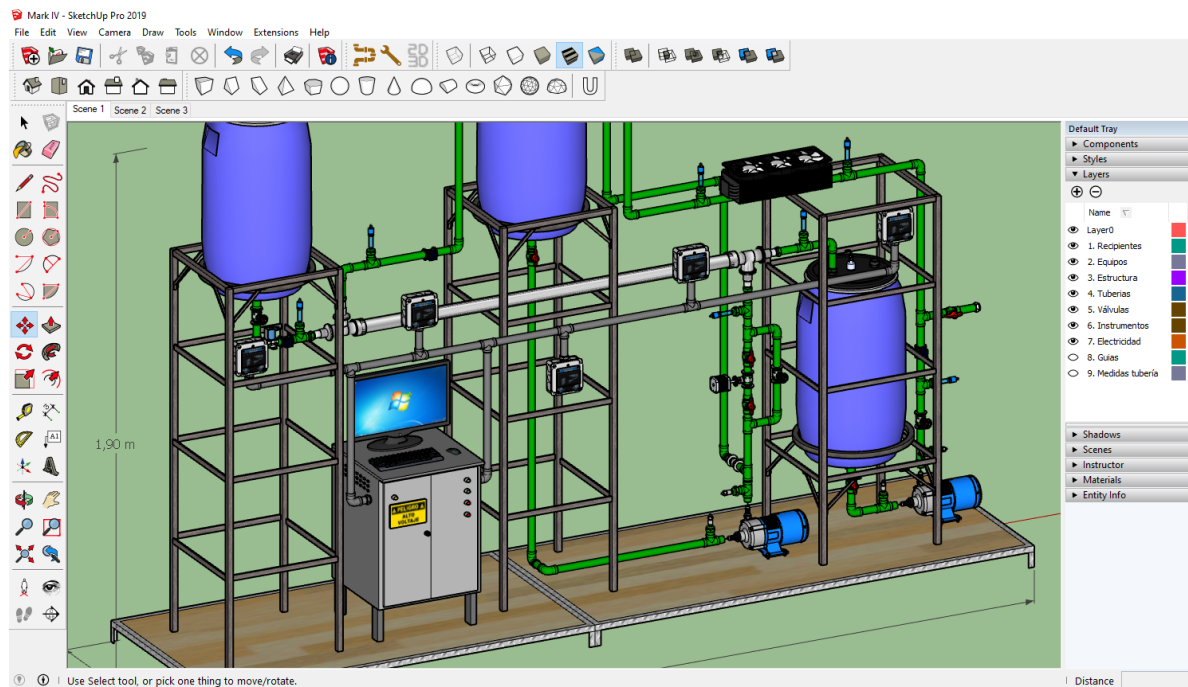


Figura 12 Elaboración de maqueta 3D en software SketchUp.

La localización propuesta para la instalación del módulo completo puede ser consultada en el Anexo 2 Ingeniería Básica 2.11 Plano de Localización General. Detalles espaciales internos (dentro del mismo equipo modular) se pueden consultar en el Anexo 3 Ingeniería de Detalle 3.14 Plano de Acabados.

4. Para las tuberías se consideraron 3 materiales: cobre, PVC y polipropileno, los cuales son los materiales más utilizados en instalaciones domésticas y semi industriales y por lo tanto son de fácil adquisición. De los 3 materiales se decidió por utilizar polipropileno como el más adecuado; es el más fácil de instalar, no es tan caro como el cobre, no tiene fugas como el PVC, la tubería no se oxida ni sufre incrustaciones, es el más resistente, los accesorios son de muy buena calidad, etc.



Figura 13 Materiales de tubería. De izquierda a derecha: Cobre, Polipropileno, PVC

Originalmente se planeaba determinar el diámetro de tubería óptimo utilizando algoritmos, pero en lugar de eso se decidió trabajar con tubería de $\frac{1}{2}$ " para disminuir costos tanto de accesorios como de sensores en línea.

La trayectoria de las tuberías fue diseñada minimizando distancias, garantizando la disponibilidad de manipulación de válvulas, así como la de evitar tantos cambios de dirección del fluido para no perder carga. La disposición de tuberías de alimentación y de efluente tiene la finalidad de mantener la humedad lejos del equipo eléctrico.

El equipo de bombeo fue elegido el comparar curvas de operación de diferentes fabricantes atiendo a las restricciones operativas y presupuestales.

La secuencia de cálculo de pérdidas de carga detallada para un tramo del proceso, el plano de distribución hidráulica e información específica sobre líneas y bombeo puede ser consultada en el Anexo 3 Ingeniería de Detalle 3.5 Memoria de Cálculo Hidráulico, 3.2 Isométrico de Distribución Hidráulica, 3.3 Especificación de Tuberías y Perfil Hidráulico. 3.4. Especificación de bombas.

5. La función del intercambiador de efecto Peltier es la de restituir el fluido de proceso a su temperatura original durante la recirculación. Al ser un equipo que se instala en línea y de dimensiones pequeñas, no representó inconveniente espacial

al no darle tanta preferencia en la secuencia de diseño. Su diseño se basa en una modificación del típico utilizado en hieleras. El propósito de su utilización comparado con el uso de un intercambiador de calor convencional, es evitar la necesidad de configurar un circuito exclusivo para el enfriamiento (más tuberías, depósitos y bombas). El diseño final fue derivado de la experimentación.

Los planos y características del intercambiador de calor de efecto Peltier pueden ser consultados en el Anexo 3 Ingeniería de Detalle 3.7 Diseño de Intercambiador de Calor de Efecto Peltier.

Al principio del proyecto se tenía pensado la adquisición de una válvula de control comercial motorizada, pero se desechó la idea debido al costo excesivo de la misma. En su lugar, la válvula de control utilizada para la experimentación, fue diseñada, ensamblada y calibrada a partir de una válvula de globo convencional y un motor de pasos acondicionado con un “*cople*” en el semieje. El diseño final fue derivado de la experimentación.

Información resumida puede ser consultada en el Anexo 2 Ingeniería Básica 2.14 Hoja de Datos de Válvula de Control.

6. La estructura del equipo modular consta de cinco componentes: tres soportes, y dos plataformas de montaje. La estructura fue diseñada principalmente con la idea de garantizar las condiciones estructurales de operación (por ejemplo, el trasvasado de un recipiente a otro por medio de gravedad) y también para buscar ser útil como soporte de equipos y tuberías (hidráulicas y eléctricas) de manera simultánea. Heurísticamente se seleccionó como material acero de 1/8” 3/4” para ángulo y solera.

Los planos de la estructura se pueden consultar en el Anexo 3 Ingeniería de Detalle 3.9 Plano de Estructuras. Algunas otras consideraciones extras en el Anexo 3 Ingeniería de Detalle 3.14 Plano de Acabados

7. El equipo modular reemplaza la labor de monitorear de manera manual las variables del proceso, y en su lugar, con el uso de sensores registra todas las variaciones en las variables y las ofrece al operador ya sea a través de terminales de monitoreo local montados cerca de los sensores o a través de la computadora central de control de forma remota.

El sistema eléctrico y electrónico está constituido por una subestación eléctrica y una red de distribución. En la subestación se alberga la computadora de control, el gabinete de *PLC's* (Arduino), la fuente de voltaje variable, el panel de control manual y el *PCB* (circuito impreso) de interconexión. La integración de circuitos se fue afinando a lo largo del proyecto y terminó siendo muy diferente al planeado.

La distribución de líneas eléctricas y electrónicas se llevan a cabo a través de tubería *Conduit* con terminales a sensores, equipos y a puertos de monitoreo local, utilizando cable de uso rudo 2x10 para bombas y cable #22 para sensores.

Los diagramas unifilares eléctrico y electrónico se pueden consultar en el Anexo 3 Ingeniería de Detalle 3.11 Diagrama Unifilar Eléctrico, 3.12 Diagrama Unifilar Electrónico. Información detallada de los sensores en el Anexo 2 Ingeniería Básica 2.12 Índice de Instrumentos.

8. Existen diferentes maneras de obtener medición de datos análogos en el mundo real, interpretar estas mediciones electrónicamente, y pasarlas a una plataforma digital. La opción más fácil y más cara es adquirir un instrumento que haga esto automáticamente. La opción más barata pero más compleja es utilizar circuitos integrados o microcontroladores *PIC*. Por suerte, en los últimos años se han desarrollado placas integradas (Arduino, Raspberry, LabJack, etc.) que facilitan la labor de interconectar el mundo real y el digital.

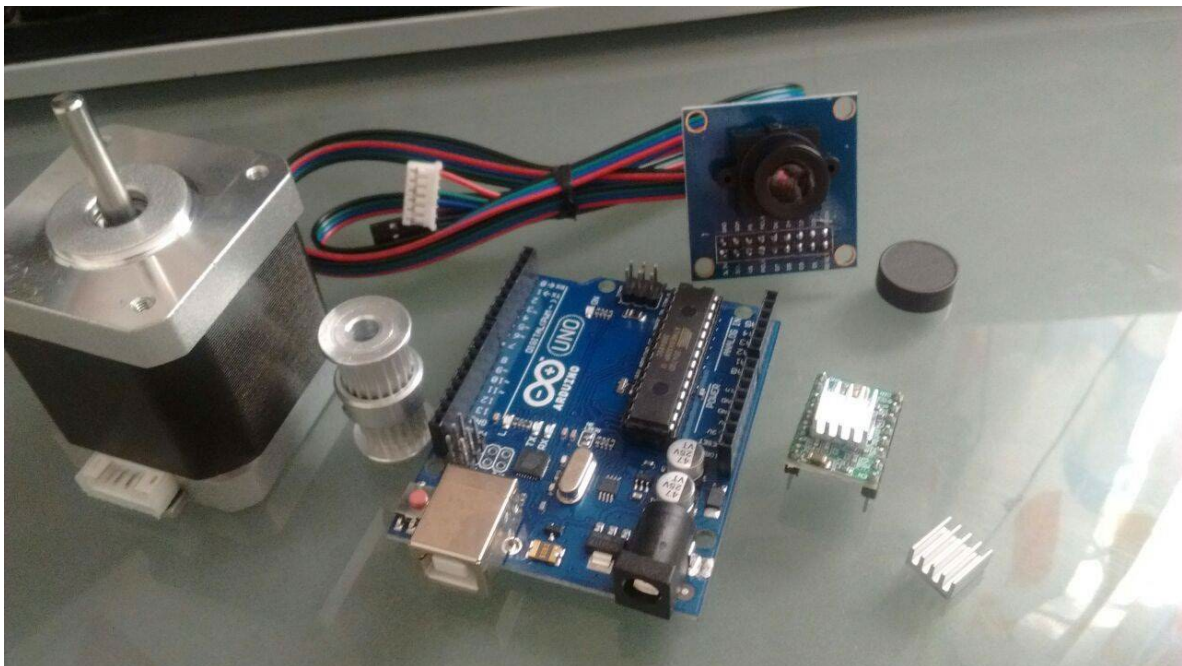


Figura 14 Accesorios Electrónicos. De izquierda a derecha: motor de pasos, placa de Arduino, cámara, driver del motor

El proceso cuenta con 6 placas de Arduino; 4 de estas placas obtienen datos de los sensores y los mandan a la computadora. Otra de las placas recibe instrucciones de la computadora y los ejecuta en el mundo real utilizando relés como transductores de señales electrónicas a acciones mecánicas. La última de las placas de Arduino controla la válvula de control.

Cada placa está conectada a diferentes sensores y circuitos auxiliares, por lo tanto, cada una debe configurarse por separado. Arduino cuenta con su propio entorno de desarrollo (*IDE*), el lenguaje utilizado es C++. Una vez escrito el algoritmo, el código se compila y se carga en la memoria *EEPROM* de cada una de las placas y se ejecuta de manera autónoma (*stand alone*), es decir, no necesitan estar conectadas a la computadora.

El código de las placas puede ser consultado en el Anexo 5 Código de Arduino™

El equipo modular se controla a través de una interfaz gráfica de usuario (GUI), desde ésta se puede acceder al registro de todos los sensores en tiempo real, además de ser la vía de arranque y paro del equipo modular.

Para la programación de la interfaz gráfica de usuario (GUI) se optó por trabajar con el lenguaje de Matlab (las otras opciones eran Python y JavaScript) debido a la disponibilidad de documentación, herramientas integradas del lenguaje y facilidad de uso.

El paradigma del código es imperativo estructurado, está escrito sobre la extensión App Designer de Matlab. El código está constituido por un algoritmo de recepción de datos, un algoritmo de escritura de datos, un algoritmo de arranque y paro, y algunas funciones extras. El código fue escrito siguiendo el protocolo Modelo-Vista-Controlador (MVC).

El código de la interfaz puede ser consultado en el Anexo 6 Código de la Interfaz Gráfica de Usuario.



Figura 15 Entorno de desarrollo (IDE) de App Designer de Matlab.

5.4 Simulación

Para la validación de las premisas y cálculos de diseño antes de la adquisición de componentes e instrumentos para la etapa de experimentación del equipo modular, se llevaron a cabo tres procesos de simulación:

- Simulación operativa a régimen permanente
- Simulación de componentes electrónicos
- Simulación de lazo de control y estabilidad

La simulación del proceso se realizó con el software PROII™, fue auxiliar para validar la congruencia operacional una vez alcanzado el régimen permanente, también se utilizó para contrastar el balance de masa y energía que había sido propuesto en una hoja de cálculo de Excel™ durante las primeras etapas del proyecto.

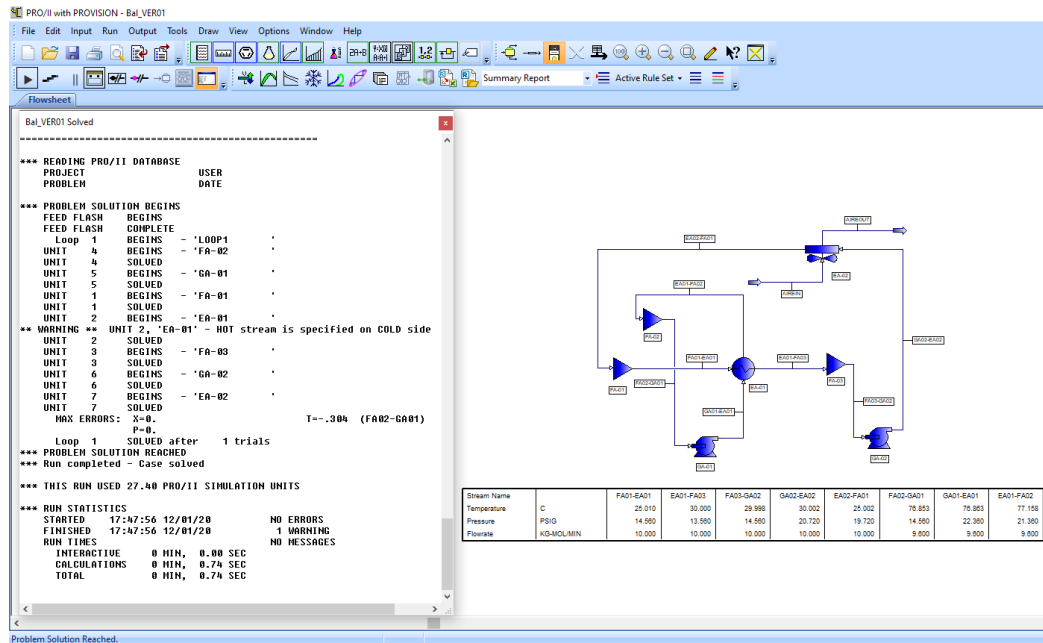


Figura 16 Simulador PROII. Del lado derecho se encuentra el diagrama de bloques del proceso y del lado izquierdo los resultados de la corrida de simulación.

El balance de materia y energía puede consultarse en el Anexo 2 Ingeniería Básica 2.5 Balance de Masa y Energía.

La simulación de componentes electrónicos se realizó en el software Proteus™, fue utilizado principalmente para cerciorarse que intercambiar datos con 6 placas de Arduino de manera simultánea y por diferentes canales *seriales* COM es posible.

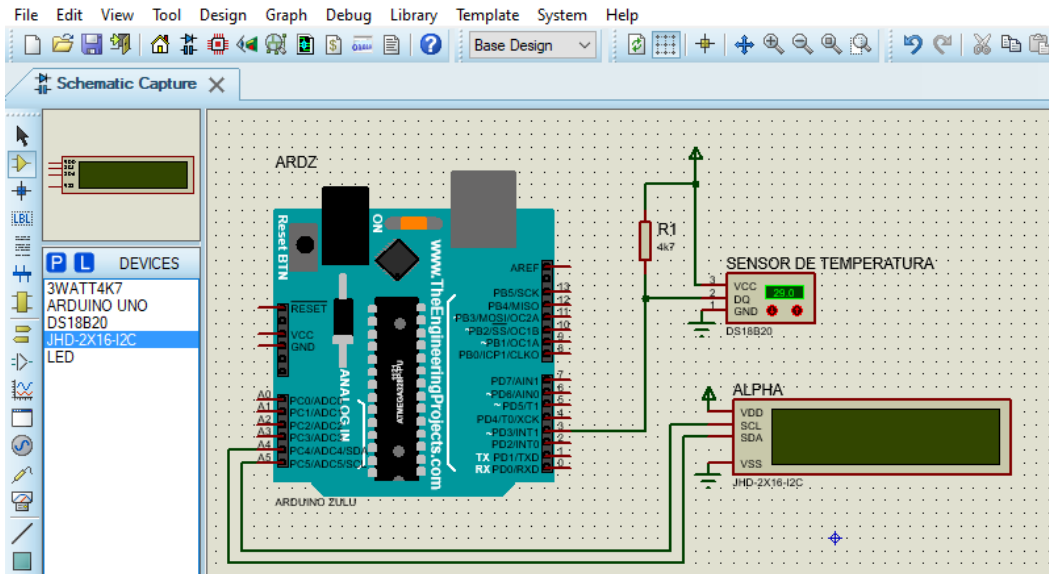


Figura 17 Simulador Proteus, utilizado para testear el funcionamiento de componentes electrónicos.

La simulación de lazo de control de temperatura y estabilidad se realizó en la extensión *Simulink* del software de *Matlab*, fue útil para determinar el comportamiento dinámico del sistema (orden) y también para la obtención de algunos otros parámetros (sobre impulso, establecimiento) que de manera contraria tendrían que ser obtenidos experimentalmente; experimentos cuya naturaleza propician posibles daños al equipo.

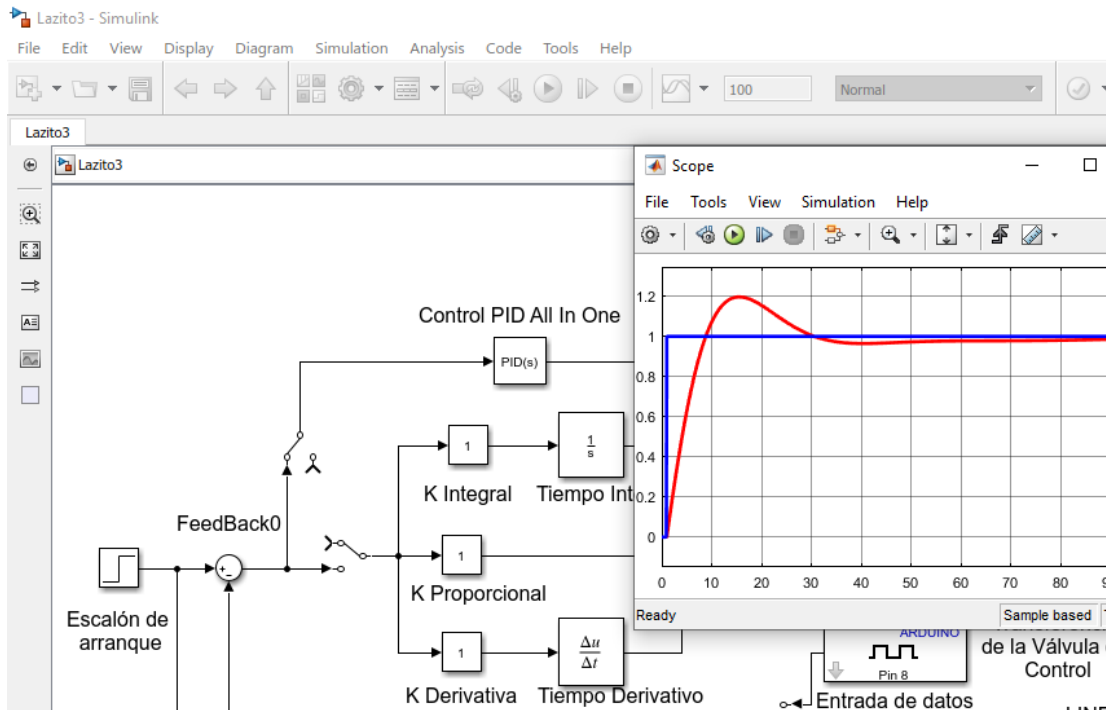


Figura 18 Simulador Simulink de Matlab, utilizado para la evaluación dinámica de procesos.

5.5 Adquisición de equipos e instrumentos

Los equipos, instrumentos y materiales de construcción se catalogaron en 2 rubros; aquellos indispensables para experimentación, y aquellos que serían menesteres en una hipotética construcción. La adquisición de los primeros representó alrededor del 10% del costo total del proyecto.

Como se mencionó en subtítulos anteriores, la característica que comparten todos los equipos e instrumentos es que son de bajo costo, pero no por eso no se buscó que cumplieren especificaciones operativas ni de seguridad. Cada equipo, instrumento y material atravesó un proceso de selección dentro de un amplio catálogo, y la mejor opción fue seleccionada para desempeñar su papel de la mejor manera posible.

Información detallada sobre precio de los componentes del equipo modular, así como costo total del proyecto puede ser consultada en el Anexo 4 Ingeniería de Procura.

5.6 Experimentación

Para la realización del proyecto resultó de mucha utilidad contrastar resultados analíticos con los obtenidos experimentalmente. En el presente trabajo, se le dio preferencia a los experimentales y se usó los analíticos más bien como punto de partida, en el entendido de que los algoritmos de diseño no terminan de describir al 100% el comportamiento real de un sistema.

Las diferentes fases de experimentación fueron las siguientes:

1. Integración electrónica, distribución y calibración de sensores
2. Configuración del algoritmo de control
3. Construcción del intercambiador de calor de efecto Peltier
4. Construcción y calibración de la válvula de control
5. Integración digital y pruebas con la interfaz gráfica de usuario

Es importante mencionar también que, aparte de conseguir resultados que no podían o que no resultaban conveniente obtenerse analíticamente, la experimentación retroalimentó y reajustó varios parámetros que habían sido propuestos durante la fase de diseño.

1. La integración electrónica consistió en encontrar la mejor manera de configurar los 22 sensores de manera tal que fuese posible la comunicación en tiempo real con la computadora. La placa de Arduino con la que se decidió trabajar (*UNO*), cuenta con 5 entradas analógicas y 13 entradas digitales, esto quiere decir que no es posible conectar todos los sensores a una sólo placa. Existen otros modelos de

Arduino (*MEGA*, *DUE*) que poseen más entradas, pero hacer esto tampoco es conveniente porque a medida que más sensores se conecten al Arduino más se tarda en procesar las señales. La opción clara resultó en trabajar con varias placas de Arduino simultáneamente.

Para la distribución de los 22 sensores entre las 6 placas se dividió el proceso en cuadrantes espaciales, y a cada cuadrante se le otorgaría una placa y un puerto de monitoreo local con display (por ejemplo, el cuadrante 1 es la parte superior izquierda del equipo modular, en ese cuadrante está un recipiente donde se mide temperatura, nivel y flujo, entonces esos serán los sensores que estarán conectadas en la primera placa).

A continuación, se describe el procedimiento generalizado de la obtención y transmisión de datos:

Primeramente, se tiene que conectar el sensor a la placa de Arduino, típicamente son 3 o 4 conexiones, la conexión es particular para cada sensor. Después se debe construir un código en el entorno de Arduino para “pedirle” datos al sensor, estos datos pueden ser un arreglo de bits, un diferencial de voltaje, pulsos a determinada frecuencia, etc. Para que estos datos tengan un valor significativo (en unidades de temperatura, presión, etc.) deben ser interpretados.

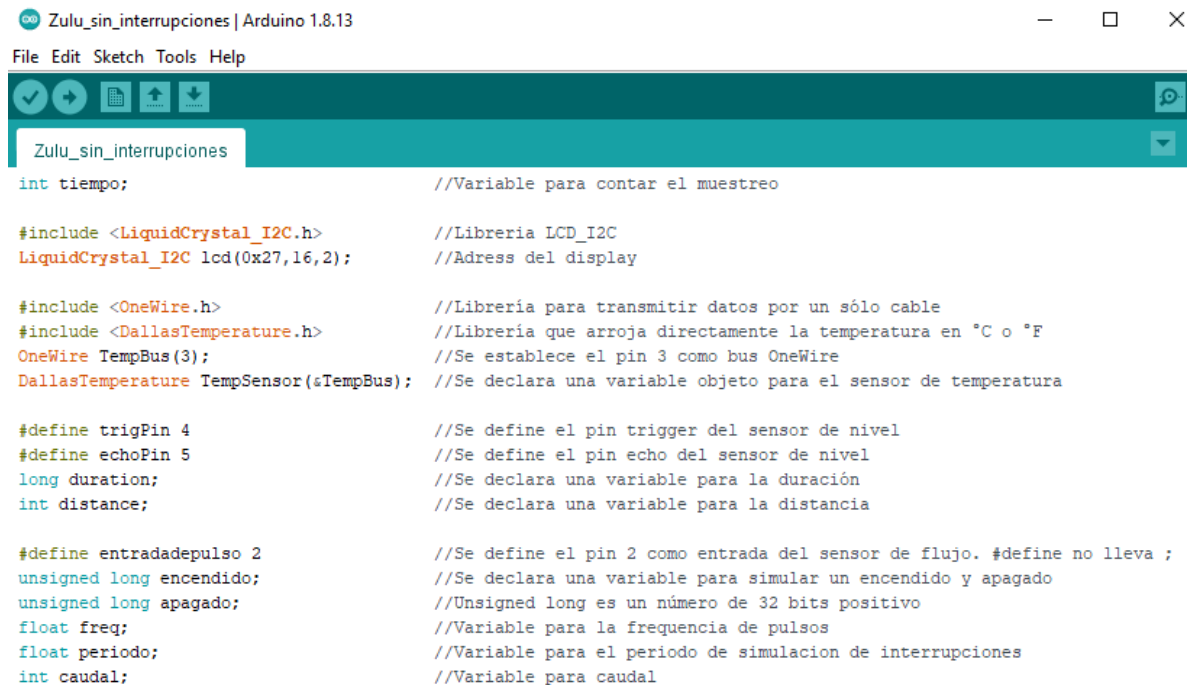
El proceso de interpretación consiste en una traducción consecutiva de lenguajes de programación a diferentes niveles, por ejemplo, el sensor de temperatura arroja un arreglo de 16 bits, que se consideraría un valor de bajo nivel; refiriéndonos a la hoja de datos del termistor (componente funcional típico en un sensor de temperatura digital) encontramos el significado de cada bit del arreglo, entonces hay que estructurar un código que traduzca el arreglo atravesando por lenguajes de bajo nivel (Assembly por ejemplo) hasta llegar a C++, que es el lenguaje de alto nivel que utiliza Arduino. Hasta este punto conseguimos que una señal del tipo arreglo de 16 bits, por ejemplo [0010011010001100], se pueda entender como 30°C

Una de las ventajas de Arduino es que al ser una plataforma de código abierto (*open source*) existe mucha documentación y bibliotecas de comandos, que resultan de mucha utilidad al momento de simplificar el código. Todo el proceso de interpretación se puede simplificar para algunos sensores a una sola línea de código (en lugar de 20) utilizando librerías de comandos. Para los sensores con salida análoga (por variación de voltaje) líneas adicionales son necesarias para la calibración.

Una vez teniendo valores significativos, los datos son enviados a los puertos de monitoreo local y a la computadora de control, esto se hace a través de comunicación *serial* por el puerto COM. Cada placa manda datos a su respectivo puerto de monitoreo local y a la computadora de control de manera separada. La computadora de control no está vinculada a los puertos de monitoreo local, de esta

manera los displays de los puertos de monitoreo local siempre tienen datos aún sin utilizar la interfaz gráfica de usuario.

Para la transmisión de datos del Arduino hacia el puerto de monitoreo local se utiliza el protocolo de comunicación I2C. Para transmitir datos del Arduino hacia la interfaz gráfica de usuario, los datos ya interpretados de varios sensores se guardan en un arreglo (para evitar mandar uno por uno y generar un *delay*) y se transmiten por comunicación serial vía USB hacia la computadora.



```
int tiempo; //Variable para contar el muestreo

#include <LiquidCrystal_I2C.h> //Librería LCD_I2C
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); //Adress del display

#include <OneWire.h> //Librería para transmitir datos por un sólo cable
#include <DallasTemperature.h> //Librería que arroja directamente la temperatura en °C o °F
OneWire TempBus(3); //Se establece el pin 3 como bus OneWire
DallasTemperature TempSensor(&TempBus); //Se declara una variable objeto para el sensor de temperatura

#define trigPin 4 //Se define el pin trigger del sensor de nivel
#define echoPin 5 //Se define el pin echo del sensor de nivel
long duration; //Se declara una variable para la duración
int distance; //Se declara una variable para la distancia

#define entradaDepulso 2 //Se define el pin 2 como entrada del sensor de flujo. #define no lleva ;
unsigned long encendido; //Se declara una variable para simular un encendido y apagado
unsigned long apagado; //Unsigned long es un número de 32 bits positivo
float freq; //Variable para la frecuencia de pulsos
float periodo; //Variable para el periodo de simulacion de interrupciones
int caudal; //Variable para caudal
```

Figura 19 Entorno de desarrollo (IDE) de Arduino.

2. Para poder controlar un proceso primero hay que conocer el fenómeno físico, químico o biológico por el que es regido, posteriormente analizar la dependencia que hay de la variable que se quiere controlar con respecto a otras variables y describirlo con lenguaje matemático; atendiendo a leyes, corolarios y axiomas científicos, más específicamente, con ecuaciones diferenciales.

Posteriormente se replantea el sistema de ecuaciones diferenciales ya sea a un espacio matricial de estados (aproximación utilizada en sistemas de entradas y salidas múltiples) o a una función de transferencia.

La función de transferencia es aquella expresión que caracteriza el comportamiento dinámico de un sistema, se obtiene después de linealizar y aplicar transformada de Laplace al sistema de ecuaciones diferenciales. También puede obtenerse semi empíricamente a partir de datos discretos utilizando la transformada Z, con la restricción de que aquella función obtenida no puede extrapolarse.

En el presente trabajo se obtuvo la función de transferencia del sistema y de la válvula de control de manera semianalítica a partir del balance de energía y utilizando la herramienta System Identification de Matlab™ para la síntesis de los datos. La función de transferencia será aquella expresión matemática útil cualitativamente para el análisis de controlabilidad del sistema, y cuantitativamente útil para la simulación y obtención de la respuesta de control.

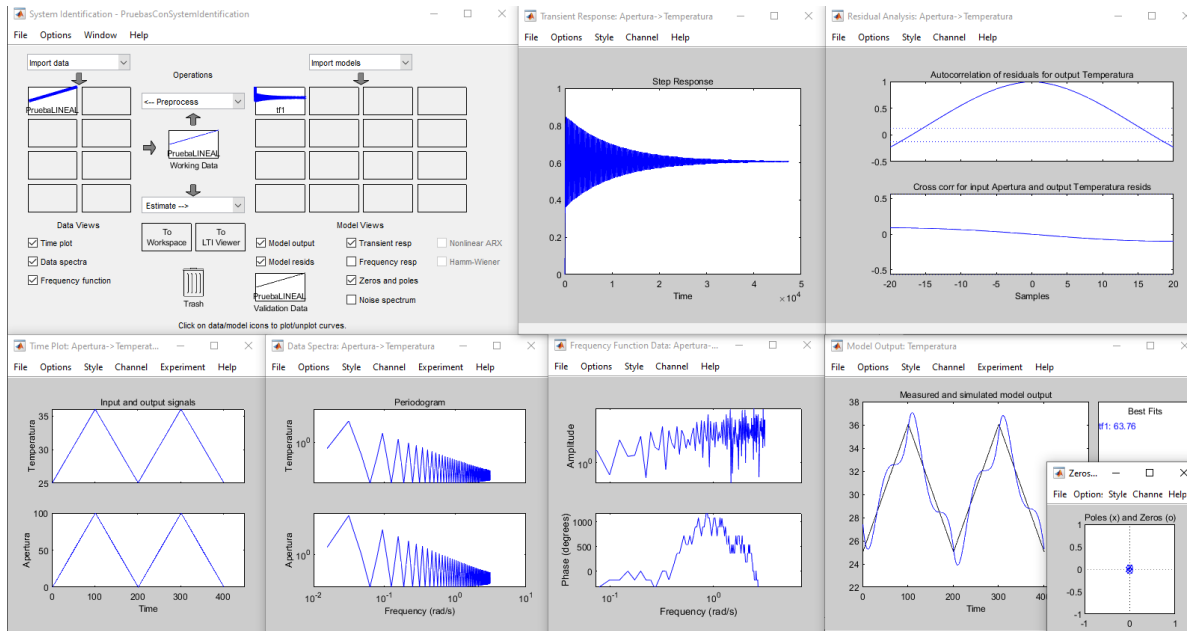


Figura 20 System Identification de Matlab, útil para obtener modelos dinámicos a partir de datos.

Conociendo la dinámica de un sistema se puede deducir si la estrategia de control es adecuada o no. La más común (y la utilizada en este proyecto) es la del tipo lazo cerrado Feedback.

Una vez teniendo el comportamiento dinámico y la estrategia de control, podemos introducir al sistema una perturbación con la intención de llegar a una condición de operación (*setpoint*) a la cual queremos que el sistema se mantenga estable. Esto se consigue tratando de “contrarrestar” a la perturbación con una respuesta como acción de control, generalmente se utiliza una del tipo proporcional integral y derivativa (PID).

Regresando al equipo modular, a través de un sensor de temperatura obtenemos datos, los cuales son enviados a una placa de Arduino (a manera de PLC) donde son computados y contrastados con el *setpoint* definido, después el algoritmo de control que contiene a la respuesta PID (que ha sido programado e implementado en la placa de Arduino) decide la manera de atenuar la perturbación

mandando instrucciones a la válvula de control (en este caso al motor de pasos) y de esta forma tratar de mantener la estabilidad.

El algoritmo de control fue programado en Simulink™ y puede consultarse con mayor detalle en el Anexo 2 Ingeniería Básica 2.16 Circuitos Lógicos de Control.

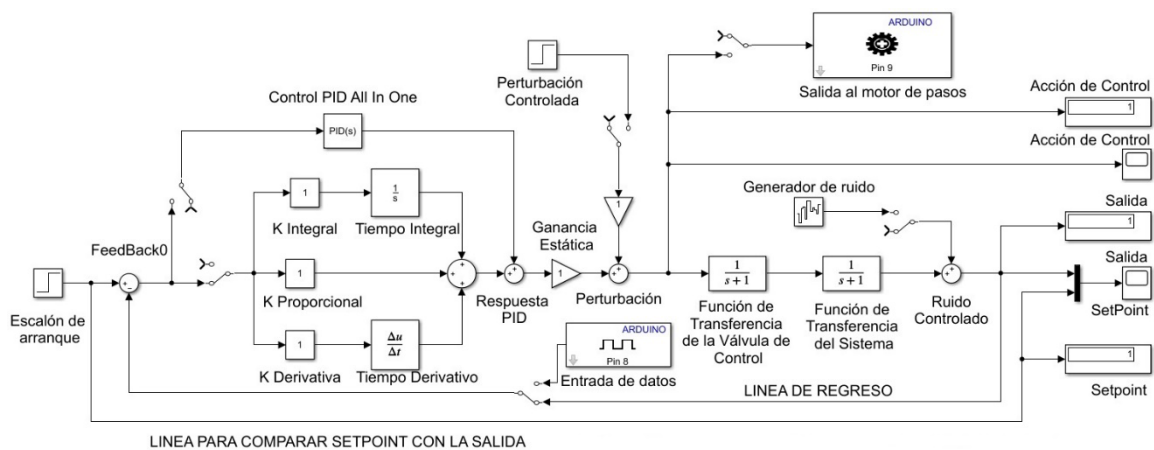


Figura 21. Lazo de control configurado en Simulink.

3. Para el diseño del intercambiador de efecto Peltier se tomó como inspiración la configuración que típicamente se utiliza en algunos sistemas de refrigeración compactos. Partiendo de esa idea, se trató de trasladar el concepto a un dispositivo experimental capaz de enfriar una corriente de 10 L/min agua de 30°C a 25°C.

El intercambiador de calor de efecto Peltier propuesto consiste en un tramo de perfil cuadrado metálico de pared delgada, mismo que está acondicionado con adaptadores hidráulicos en los extremos para poder integrarse a la línea de proceso. El conducto cuadrado cuenta con tres celdas Peltier, cada una con su respectivo disipador de calor. Dichos disipadores están conectados en paralelo y regulados de su velocidad con un circuito auxiliar modulador de longitud de pulsos PWM (típicamente conocido como variador de velocidad o dimmer).

El principio funcional del intercambiador de efecto Peltier propuesto recae en la sobre especificación, es decir, existen las condiciones para llegar al estado deseado con mucho rango operativo de sobra. El motivo por el cual se decidió diseñar de tal manera es para que el control de la razón de transferencia de calor quede depositado únicamente en la velocidad de los disipadores.

Teóricamente una sola celda Peltier puede llevar al fluido de proceso hasta 5°C. Para poder especificar a qué temperatura se quiere caracterizar al proceso hay que determinar la intensidad eléctrica necesaria para alimentar a la celda Peltier,

esto se obtiene después de conocer la razón de transferencia de calor que hay entre el fluido de proceso, la tubería, y la celda; todo esto en una configuración cuadrada.

La buena noticia es que existe una manera más fácil de establecer qué tanto calor se quiere extraer sin necesidad de análisis y cálculos trascendentales: la modulación de longitud de pulsos (*pulse-width modulation PWM*).

Una celda Peltier tiene dos caras, una caliente y una fría. Sobre el lado caliente se instala un disipador de calor (en este proyecto se utilizaron disipadores de procesadores de computadora). Al suministrar electricidad a la celda Peltier comienza a calentarse el lado caliente y a enfriarse el lado frío; y mientras más calor se disipe del lado caliente, más se enfriará el lado frío. Para disipar más calor basta con hacer que el ventilador del disipador vaya más rápido.

El intercambiador de calor de efecto Peltier que se propuso en este trabajo está diseñado tomando como pauta esto último; de esta manera, se puede manipular la temperatura a la cual se desea caracterizar al fluido de proceso, y no está restringido a operar en condiciones específicas.

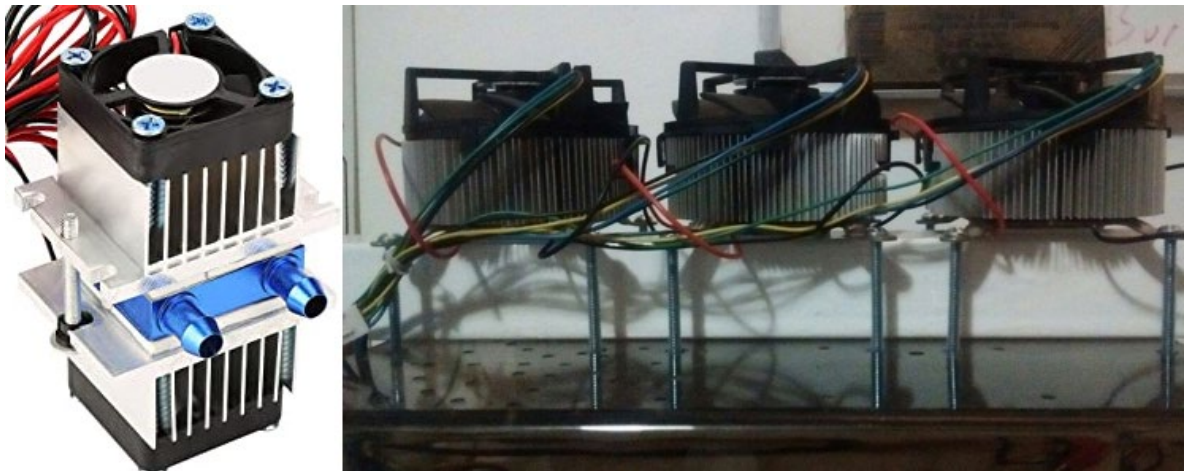


Figura 22 Enfriador termoeléctrico de efecto Peltier. La imagen de la izquierda es la inspiración y el de la derecha es el propuesto.

4. El diseño de la válvula de control derivó de dos premisas: la primera era la de evitar un gasto excesivo adquiriendo alguna de las válvulas comerciales disponibles en el mercado, y la otra era la de evitar configurar un circuito de aire de instrumentos para satisfacer un solo propósito. Dichas consideraciones resultaron en la “construcción” de una válvula de control experimental, construida a partir de componentes hidráulicos, eléctricos y mecánicos, buscando asemejarse lo más posible a una válvula de control convencional.

La válvula construida consta de 3 componentes: una válvula de globo, un motor de pasos y un mecanismo compuesto por 2 engranes concéntricos.

La válvula de globo es convencional y no hay mucho que decir de ella. El motor de pasos (que a diferencia de un motor común del cual sólo se busca velocidad) garantiza posición. Al igual que todo motor, consta de un rotor y un estator. El mecanismo de los 2 engranes concéntricos tiene la función de unir el semieje (rotor) del motor y acoplarlo al manubrio de la válvula de globo.

La válvula de control resultante es del tipo lineal (con obturador isoporcentual) y su grado de precisión es de hasta 1.8° de giro del manubrio. La válvula es controlada con una placa de Arduino y responde con variaciones de temperatura. En el capítulo de resultados, se hablará más a detalle sobre la integración de la válvula con el motor de pasos.

Los planos de la válvula están disponibles en el Anexo 3 Ingeniería de Detalle 3.9 Diseño de Válvulas de Control.

5. La integración digital consistió en mantener comunicación en tiempo real y sin interrupciones entre la interfaz gráfica de usuario (GUI) y las placas de Arduino.

La interfaz fue programada en la extensión App Designer de Matlab, ésta obtiene datos de las placas de Arduino y las presenta al operador de manera discreta y gráfica en tiempo real, además de ser la vía de arranque y paro del equipo modular.



Figura 23 Válvula de control propuesta.

Para la lectura de datos, las mediciones de los sensores que son almacenadas en arreglos en las placas de Arduino (4 de 6) son “solicitados” cada segundo desde la interfaz, desde ésta se accede a los índices de cada arreglo y se presentan al operador a través de cuadros de texto y manómetros digitales. Entre la medición de las placas de Arduino, y la presentación del resultado de la interfaz hay aproximadamente un segundo de retraso. La comunicación es del tipo *serial* a través de diferentes canales COM y por conexión USB.

En el caso de la escritura de datos hacia el Arduino (1 de 6) para activar y desactivar los relés que prenden y apagan los equipos, la comunicación es a través de conexión USB al igual que la lectura, pero las órdenes no son enviadas por canal

serial, si no utilizando las herramientas integradas de Matlab, esto debido a que las órdenes no son cíclicas y sólo son necesarias en situaciones específicas.

La placa de Arduino (1 de 6) que controla a la válvula de control se comunica con la interfaz a través de comunicación *serial*, solamente envía resultados para ser graficados. La acción de control es directa hacia el motor de pasos, y no pasa por la interfaz para evitar crear un retraso.

La interfaz fue compilada para ser ejecutada de manera *stand alone*, es decir, el programa se puede ejecutar en cualquier computadora con *Windows 10* sin necesidad de Matlab instalado ni de equipos de cómputo sofisticados ni de gama alta.

Información sobre las funciones extras y apariencia de la interfaz gráfica de usuario (GUI) se puede consultar el Anexo 2 Ingeniería Básica 2.17 Tablero Principal de Control.

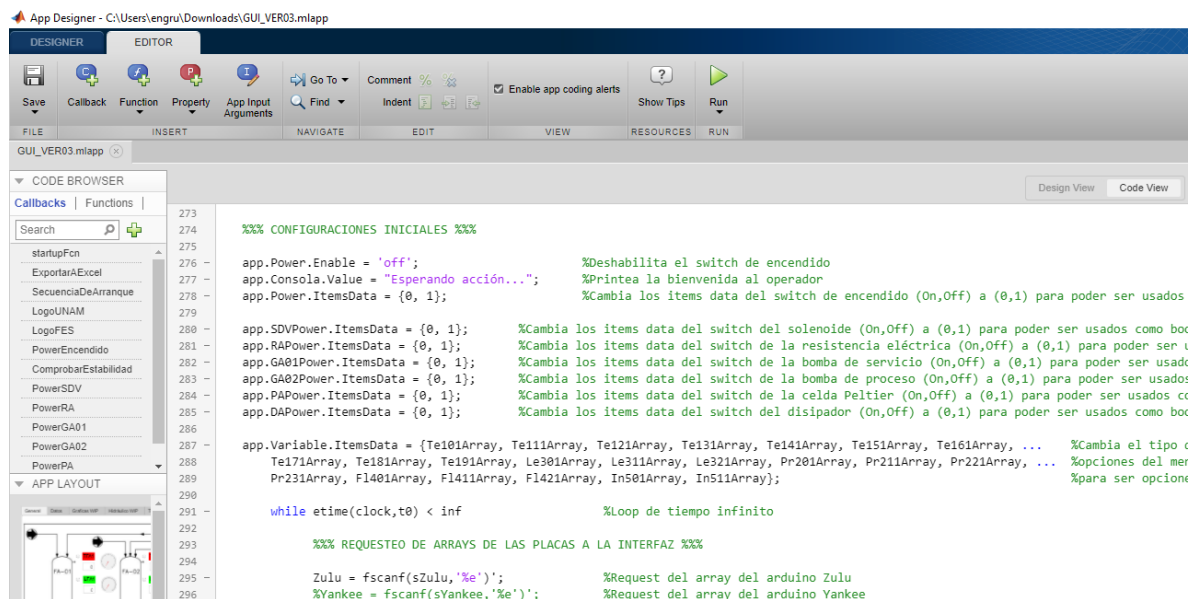


Figura 28 Entorno de desarrollo (IDE) de App Designer.

5.7 Construcción

En este apartado se hablará de una “hipotética” construcción del equipo modular, lo cual busca ser complementario a la procura que todo proyecto debe contemplar; y que deberá de servir como pauta en la bitácora de construcción en caso de llevarse a la realidad dicho proyecto.

La construcción del equipo modular se llevaría a cabo en 2 sedes; primeramente, en un domicilio particular o taller donde se construyesen la estructura metálica, el intercambiador de calor de doble tubo, la modificación de los recipientes, algunas líneas hidráulicas y el gabinete eléctrico. Posteriormente el equipo sería trasladado, ensamblado e instalado en la planta piloto. La construcción seguiría el siguiente orden:

1. Estructura metálica
2. Intercambiador de calor de doble tubo
3. Acondicionamiento de recipientes
4. Red hidráulica
5. Gabinete eléctrico
6. Integración de la válvula de control y de la celda Peltier
7. Puertos de monitoreo local, red eléctrica y electrónica
8. Complementación digital
9. Acabados

1. La plataforma de montaje y los soportes de recipientes y tuberías serán construidos con ángulo y solera de acero de 1/8" 3/4". Dichos componentes serán soldados con arco eléctrico a 120V utilizando electrodos de 2.5 mm, posteriormente serán esmerilados y pintados con una compresora. Los soportes de los recipientes, el gabinete eléctrico y las bombas se podrán montar y desmontar de la plataforma utilizando pernos.

2. El intercambiador de doble tubo será construido a partir de dos tubos de cobre concéntricos de los cuales el de mayor diámetro contará con *tee*'s modificadas en ambos extremos. La modificación consistirá en soldar un tapón de cobre perforado en el centro sobre la terminal en línea de la *tee*, con la intención de servir de soporte al tubo de menor diámetro y restringir el paso de fluido del tubo de mayor diámetro. La perforación del tapón de la *tee* será hecha en un taladro de banco. La soldadura de la perforación del tapón al tubo concéntrico será por arco eléctrico a 120V con electrodos de 2.5 mm.

Las reducciones de diámetro y accesorios para acoplar el intercambiador de doble tubo a la red hidráulica serán soldados a los tubos de mayor y menor diámetro utilizando gas propano y aleación 60/40 plomo estaño. Posteriormente se recubrirá todo el intercambiador de calor utilizando aislante térmico Armaflex™ de 25 mm, el cual se instala con pegamento.

3. La modificación de los recipientes de polietileno consistirá en la perforación de las tapas y de los fondos para ubicar e instalar adaptadores hidráulicos a manera de boquillas. Particularmente para el depósito de agua caliente, el adaptador hidráulico que sirve como pozo para la resistencia eléctrica contará con una varilla interna que mantendrá a la resistencia eléctrica sumergida e inamovible. Todas las perforaciones se realizarán utilizando un taladro, ya sea de banco o manual.

Para evitar fugas una vez instalados los accesorios hidráulicos, se sellarán las juntas utilizando silicón y una pistola de calefateo.

4. Las tuberías y accesorios de polipropileno se “soldan” utilizando una herramienta de termofusionado; consiste en calentar durante algunos segundos los dos componentes a unir (por ejemplo, un tramo de tubería con un codo) y juntarlos inmediatamente. Hacerlo correctamente garantiza un sellado infalible.

La construcción de la red hidráulica consistirá en termofusionar tramos de tuberías integrando accesorios en línea con terminales roscados. Se hará de manera tal que sea posible montar y desmontar la red con el uso de “tuercas unión” (equivalente a una brida) buscando tener flexibilidad durante la instalación.

Los terminales roscados (sensores de flujo, válvulas check, etc.) se recubrirán adicionalmente con teflón y con pasta para juntas.

5. Para resguardar e integrar los circuitos eléctricos y electrónicos del equipo modular, se adquirirá un gabinete eléctrico típicamente utilizado como caja de pastillas eléctricas de instalaciones semi industriales. Éste será modificado del chasis para integrar una computadora, una fuente conmutada de voltaje variable y un circuito auxiliar integrador de las placas de Arduino y sensores. Uno de los paneles de acceso del gabinete también será modificado para funcionar como terminal de control manual del equipo modular, integrando interruptores para el encendido y apagado, además de potenciómetros para el control manual de la velocidad de las bombas.

6. Para evitar el desajuste de los engranes concéntricos del acoplamiento del motor de pasos, la válvula de control será atornillada a uno de los soportes de recipientes para servir como base del estator del motor de pasos (originalmente se pensaba solamente anclar el motor a la tubería). De igual manera se atornillará el intercambiador de calor de efecto Peltier a un soporte de recipiente con la intención de no ejercer mucho peso sobre la línea hidráulica.

7. El equipo modular cuenta con 5 puertos de monitoreo local, en los cuales los operadores pueden ver las mediciones de los sensores como alternativa a la interfaz gráfica de usuario (GUI). Los puertos de monitoreo local consistirán en una chalupa de tubería Conduit cuya tapa estará acondicionada con un display LCD. Las chalupas además servirán como punto de recepción de los cables de los sensores y equipos.

Los cables de sensores y equipos estarán canalizados en tubería Conduit; ésta tiene la ventaja de ser atornillable y estará anclada a los soportes de recipientes. Las tuberías convergen en el gabinete eléctrico a manera de subestación eléctrica

8. La complementación digital consistirá primeramente en dar un carácter definitivo de sintonización a los canales de recepción de datos con la computadora y a su

posterior representación en la interfaz gráfica de usuario, además de la evaluación del indispensable algoritmo de arranque y paro del equipo modular. En segundo lugar, se buscará la optimización de algoritmos en general, corrección de errores del código y el mejoramiento de la apariencia gráfica de la interfaz con la intención de ser más intuitiva para los operadores. Finalmente, se implementarán funciones adicionales extras como exportar datos a Excel o la emisión de un reporte de operaciones. El trabajo principal de programación será culminado con la emisión de una versión “Beta” (aún sujeta a pruebas físicas) de la interfaz gráfica de usuario.

El procedimiento de arranque y paro se puede consultar en el Anexo 2 Ingeniería Básica 2.19 Filosofía de Operación y Control.

9. Los detalles de construcción final o acabados, consistirán en la señalización de válvulas, tuberías, equipos y sensores, además del reacondicionamiento general de la zona a la que será destinada la instalación del equipo modular dentro de la planta piloto.

Los acabados pueden consultarse en el Anexo 3 Ingeniería de Detalle 3.14 Plano de Acabados.

5.8 Puesta en marcha

De manera similar al apartado anterior, este capítulo tiene la finalidad de servir como guía de trabajo de validación hipotético, que sería necesario en caso de llevarse a cabo la construcción e implementación del equipo modular.

Antes de la entrega del equipo modular como parte de la flotilla de equipos de la planta piloto, se realizarían pruebas preliminares de arranque, operación y paro, para garantizar funcionalidad y seguridad. Se buscaría principalmente satisfacer periodos de operación prolongados sin desajustes operativos de equipos e instrumentos.

1. Pruebas de corridas hidráulicas
2. Pruebas de intercambio de calor
3. Pruebas con sensores e instrumentos
4. Pruebas operativas

1. La prueba hidráulica consistiría en hacer circular agua a través de las tuberías de proceso y de servicio por tiempo prolongado y a diferentes velocidades de bombeo. Se buscaría determinar la existencia de fugas, puntos de acumulación de líquido, zonas de vibración de las tuberías, respuesta de la válvula de solenoide a niveles irregulares de los recipientes y tolerancia operativa de las bombas.

2. La prueba de intercambio de calor consistiría en poner a prueba el circuito perpetuo de reacondicionamiento de agua a diferentes condiciones de operación.

La intención sería identificar y corroborar alternativas y restricciones operativas, la tolerancia operativa de los intercambiadores de calor (doble tubo y Peltier) y la tolerancia operativa de la resistencia eléctrica.

3. Las pruebas con sensores (conocida como “prueba de aceptación en fábrica *FAT*”) consistirían en evaluar la precisión y consistencia de las mediciones obtenidas a periodos prolongados de operación. Se buscaría descartar el mal funcionamiento de alguno de los instrumentos ya sea en tiempo de respuesta o como resultado de una descalibración.

4. Como indicador final de confiabilidad, se sometería el equipo modular a desempeñar la operación para la que fue diseñado. Con esta prueba operativa se buscarían fallas en general de todos los sistemas en funcionamiento paralelo; se revisaría la estabilidad estructural de los soportes, se revisarían las líneas hidráulicas, se revisaría el correcto funcionamiento de equipos y sensores, se revisaría la instalación eléctrica y electrónica, por último, se revisaría la respuesta asistida de la interfaz gráfica de usuario (GUI).

6. Resultados

En este capítulo se hablará no sólo sobre resultados operativos de las etapas de simulación y experimentación del equipo modular, sino también de aquellos resultados derivados de la realización del proyecto, desde la planeación hasta la redacción del último documento.

1. Primeramente, la planeación de actividades, elaboración de documentación y experimentación se desfasó de manera considerable particularmente sobre la fecha en la cual se esperaba terminar el proyecto, esto se debió a restricciones económicas para la adquisición de algunos instrumentos derivado de dificultades globales inéditas que surgirían después de la concepción del proyecto. Sin embargo, al contrastar el tiempo asignado durante la planeación de sub actividades (revisión bibliográfica, cálculos en general) y su respectivo tiempo de ejecución en la vida real, no se encontraron tantas variaciones de lo planeado; aquellas excepciones son resultado de la subestimación de la complejidad de algunos temas (la programación, por ejemplo). Esto quiere decir que el retraso en la redacción de los últimos documentos y planos fue resultado del retraso de adquisición de instrumentos, y no como resultado de una mala ejecución.

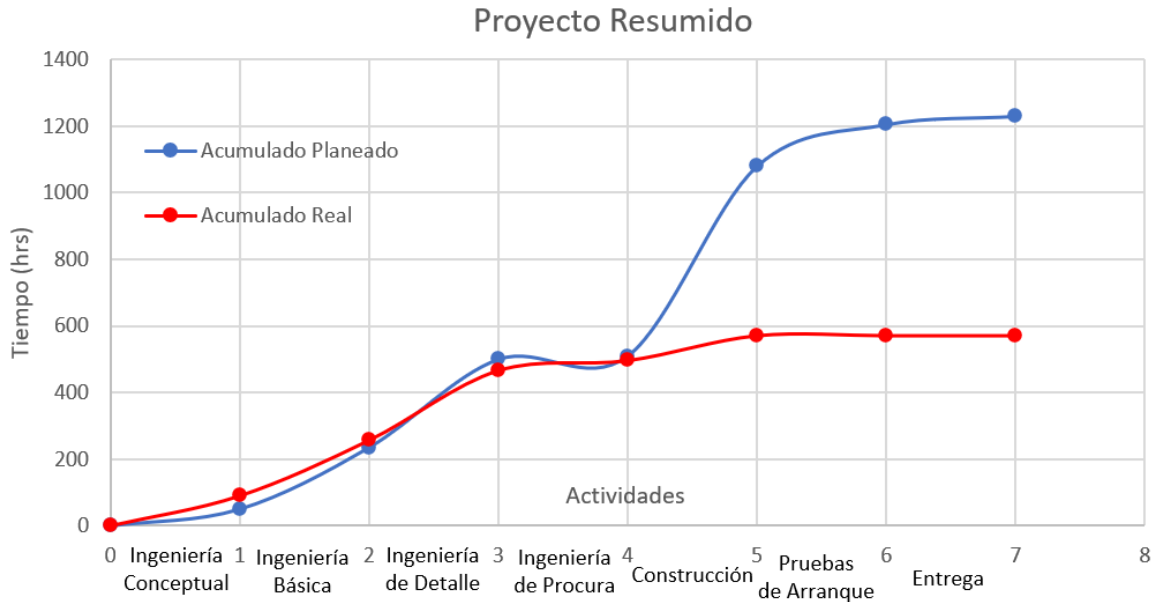


Figura 25 Curva S del proyecto.

Para la documentación del proyecto se trabajaron alrededor de 572 horas, trabajando en jornadas de 5 horas al día en semanas de 5 días hábiles. Esto quiere decir que, asumiendo inexistentes los contratiempos en fases experimentales y adquisición de equipos e instrumentos, idealmente el proyecto se finalizó (hasta la etapa de ingeniería de procura) en aproximadamente 6 meses.

2. Con respecto al diseño de los sistemas, primeramente, el intercambiador de calor fue definido después de 9 iteraciones; los parámetros a considerar fueron: caudal y temperatura de entrada y salida del fluido caliente, caudal y temperatura de entrada y salida del fluido frío, y los diámetros de tubería y ánulo. La idea era conseguir encontrar parámetros que se adaptasen a un condensador de vidrio (de los utilizados en destilaciones de laboratorio) de 30 cm. La intención siempre fue reducir la inversión, y qué mejor que trabajar con un equipo ya fabricado en lugar de construir uno propio.

Con los parámetros propuestos en la primera iteración ($w=30$ L/min, $t_1=25^\circ\text{C}$, $t_2=45^\circ\text{C}$, $W=29$ L/min, $T_1=60^\circ\text{C}$, $T_2=40^\circ\text{C}$, $\theta_t=1/2''$, $\theta_a=2''$) se determinó que para calentar 30 L/min de agua de 25°C hasta 45°C utilizando agua de servicio a 60°C en un condensador de cristal, eran necesarios 196 de éstos últimos. Lo cual resulta absurdo desde cualquier enfoque.

Encontrar el equilibrio adecuado resultó más tardado que los cálculos como tal. El reducir el flujo de proceso o de servicio repercutía en asegurarse de que las bombas pudiesen adaptarse a la modificación, a que los sensores pudiesen medir

correctamente, a que las dimensiones del equipo aumentasen moderadamente, en evitar cambios de fases. Lo mismo ocurría con modificar la temperatura.

En cada iteración se fue modificando un parámetro buscando disminuir el número de condensadores necesarios, de ser posible llegar a uno. En la segunda iteración se redujo la temperatura de salida del fluido frío, esta vez sólo se buscaba aumentar la temperatura 5°C, de 25°C a 30°C. El resultado arrojó la cantidad de 46 condensadores necesarios. En la tercera iteración se disminuyó el flujo de fluido frío a la mitad (15 L/min). Dicha modificación redujo la cantidad de condensadores necesarios a 33.

Hasta la séptima iteración se alcanzó el límite. Se redujo el flujo frío a 10 L/min, la diferencia de temperatura del fluido frío hasta este punto seguía en 5°C, de 25°C a 30°C, el flujo caliente en 9.5 L/min, con diferencia de 4°C, partiendo de 80°C a 76°. Con esto el número de condensadores se ajustaba a cuatro. Hasta este punto ya no era posible reducir el flujo, porque tendrían que cambiarse las bombas de ½" Hp, por bombas de ¼" Hp, las cuales son triplemente más caras. También ya no se podía aumentar más la temperatura inicial del fluido caliente, porque se podría suscitar un cambio de fase durante el bombeo, los sensores contemplados debían cambiarse por algunos más sofisticados y costosos, el sobrecalentamiento de la resistencia eléctrica podría desatar una sobrecarga en los circuitos del gabinete eléctrico y muchos otros problemas más.

La única solución posible resultó en desechar la idea del condensador de vidrio (en este punto se descartó el diseño compacto de la versión Mark III) y se decidió proponer la construcción de un intercambiador de cobre, de dimensiones moderadas y técnicamente compatible con sensores y bombas de bajo costo.

En la novena iteración se propuso un intercambiador de calor de doble tubo de 120 cm de largo (4 ft), tubo de 1" de diámetro y ánulo de 1 ½", calienta 10 L/min de agua de 25°C a 30°C utilizando agua a 80°C. Con dichas especificaciones sólo se necesita un intercambiador.

La secuencia de cálculo de la novena y última iteración se puede consultar en el Anexo 3 Ingeniería de Detalle, 3.8 Memoria de Cálculo Térmico.

Para el diseño de la red de distribución hidráulica se realizaron análisis de pérdidas de carga para casi todos los tramos de tuberías del equipo modular, exceptuando aquellos que resultan poco relevantes, como las líneas de alimentación y de salida. También se realizó un análisis de operabilidad de las bombas seleccionadas.

Para la determinación de las pérdidas de carga por accesorios se utilizó el procedimiento documentado en el catálogo hidráulico del material de la tubería.






No.	Tipo de conexión (resistencia simple)	Símbolo gráfico	Coefficiente Resistencia (R)
1	Cople		0.25
2 2a	Reducción de diámetros inmediatos Reducción de diámetros inmediatos		0.55 0.85
3	Codo a 90°		2.00
4	Codo a 45°		0.60
5 5a	Tee normal Tee reducida		1.80 3.60

Figura 26 Coeficientes de resistencia del manual hidráulico para tubos de polipropileno; información útil para los cálculos de pérdidas de carga.

Al tratarse de un proceso relativamente simple, no se encontraron mayores dificultades en los cálculos, y los resultados obtenidos son congruentes a los que se esperarían en sistemas de bombeo y distribución de una instalación hidráulica doméstica. Aquellas líneas con mayor número de accesorios y cambios de dirección fueron las que presentaron mayor pérdida de carga. Pérdidas que resultan insignificantes para las bombas seleccionadas.

Los cálculos fueron realizados en una hoja de cálculo en Excel, sin embargo, el procedimiento detallado de uno de los tramos puede ser consultado en el Anexo 3 Ingeniería de Detalle 3.5 Memoria de Cálculo Hidráulico, y el resumen de resultados en el Anexo 3 Ingeniería de Detalle 3.3 Especificación de Tuberías y Perfil Hidráulico.

Sobre el sistema de bombeo se determinó que la única condición de cavitación es al someter a la bomba de distribución de agua caliente (GA-01) a trabajar con un caudal mayor a los 26 L/min, esto debido a que la presión de vapor de agua @ 80°C con ese caudal es superior a la presión de succión de la bomba. Esto está fuera de las condiciones de operación normales (21 L/min), además de ser una condición imposible de alcanzar debido a que dicho caudal solamente se obtendría al tener el depósito de agua caliente (FA-02) lleno al máximo (con 60 cm de nivel). En la figura 27 se observa que la bomba tampoco tiene problemas de carga al operar en 21 L/min, ya que sólo se requiere elevar el agua 2 metros, aún a pesar de que no se opera en el punto de máxima eficiencia de la bomba.

GA-01

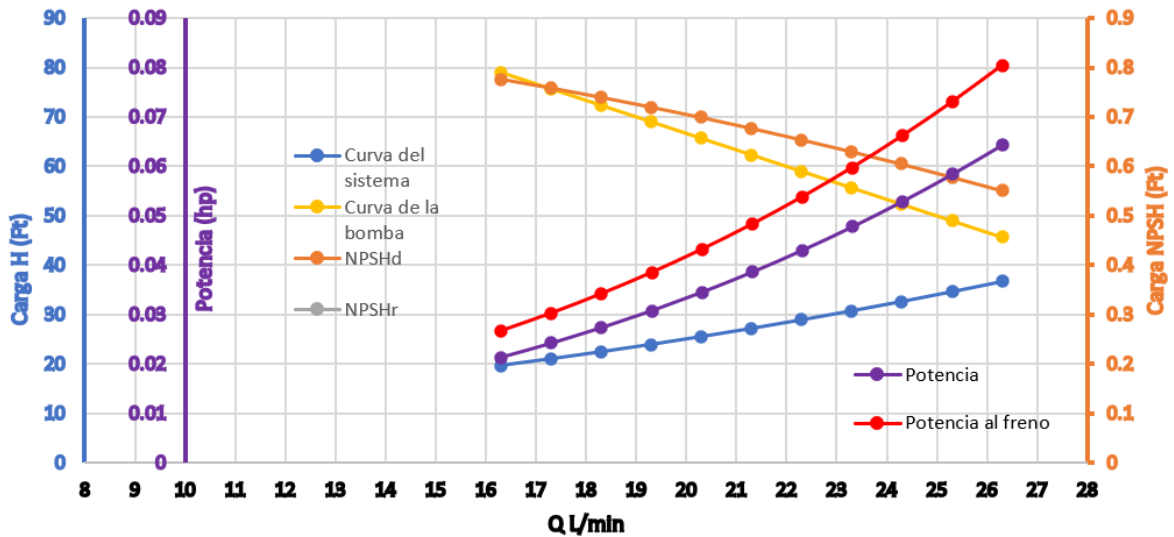


Figura 27 Curvas de la bomba de servicio.

3. Para los sistemas que conllevan aprender otra carrera universitaria (mecánica, electrónica, sistemas, civil, eléctrica, instrumentos), con la intención de aprovechar el tiempo, se evitó trabajar con conceptos trascendentales, y más bien se buscó un conocimiento mayormente con respaldo heurístico y práctico. Es decir, se optó por evitar cálculos sofisticados electrónicos, mecánicos y estructurales. Para justificar dicha consideración, se tomaron acciones para sustentar los sistemas; por ejemplo, para los sistemas electrónicos y electrónicos se adquirió y evaluó experimentalmente el desempeño de cada uno de los sensores, para los sistemas mecánicos se obtuvo experimentalmente la razón de transferencia angular del acoplamiento del motor de pasos, para los sistemas estructurales se consultó con técnicos las características necesarias para la estabilidad de las estructuras. En resumen, todos los sistemas están fundamentados, funcionan y son seguros.

Los procesos de simulación arrojaron los siguientes resultados:

1. En la simulación de Proll™ para la determinación del balance de masa y energía se estableció como modelo de cálculo termodinámico la función de estado de Soave Redlich Kwong. También, a falta de un bloque para la inclusión del intercambiador de calor de efecto Peltier, se insertó un aireador como remplazo, al cual se le caracterizó de manera tal que amortiguase su repercusión durante la corrida de cálculo, asumiendo que las caídas de presión fueron mínimas y las variaciones de temperatura fueron contundentes durante la simulación.

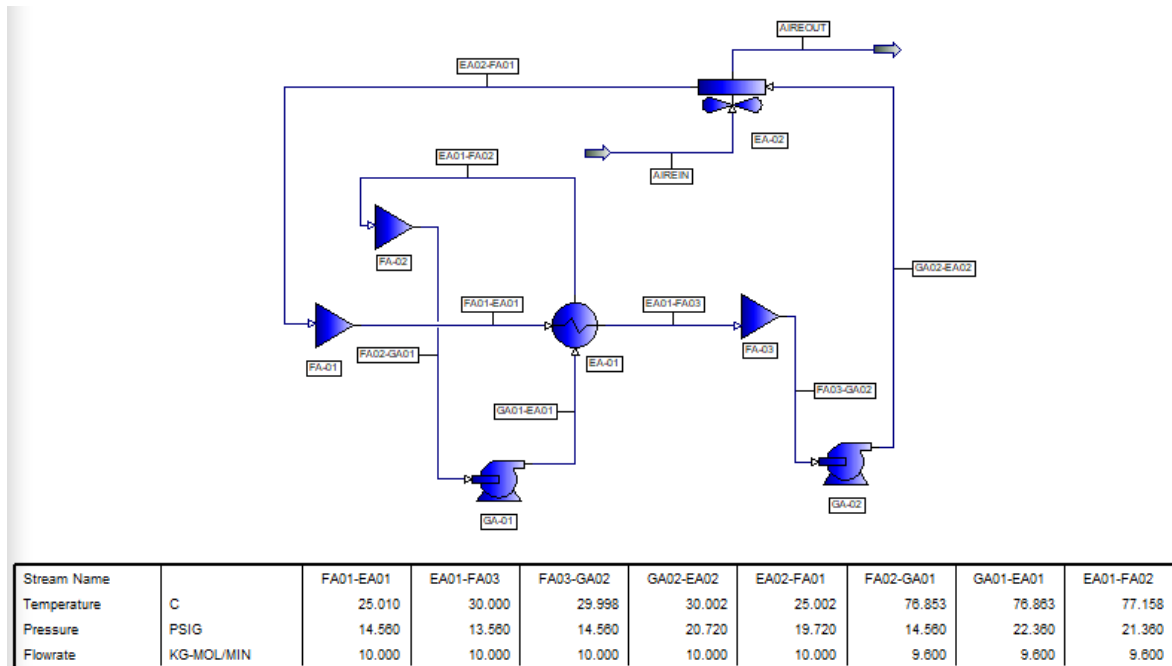


Figura 28 Balance de materia y energía obtenido en PROII.

Los resultados obtenidos en ProII (Figura 28) se asemejan a los que se habían obtenido algebraicamente en una hoja de cálculo de Excel (Figura 29), a excepción de los valores de temperatura de las corrientes del circuito de servicio. La diferencia es que en lugar de mantenerse constantes como en Excel (80°C, 80°C y 75°C respectivamente), en ProII oscilan entre los valores de 75°C y 80°C, lo cual sigue siendo aceptable.

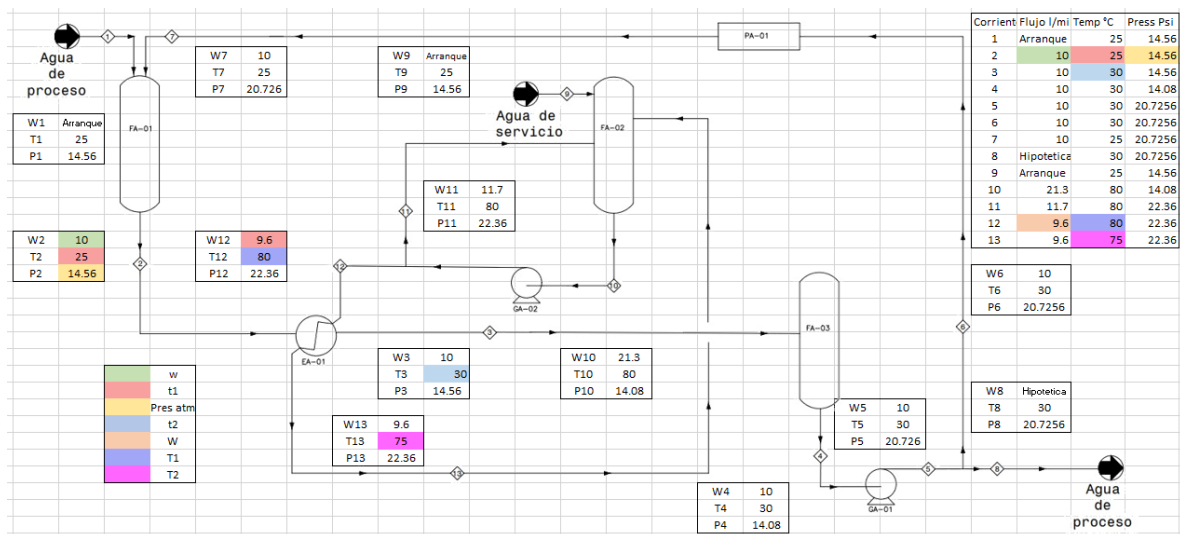


Figura 29 Primera versión del balance de materia y energía, realizado en Excel.

2. En la simulación de componentes electrónicos con el software Proteus™ se determinó que no hay problema mayor en intercambiar datos entre la computadora

y dispositivos externos a través de comunicación serial de manera simultánea y por diferentes canales. Esta simulación tuvo la función de corroborar algo sobre lo que se tenían indicios en lugar de certeza a falta de información; académicamente (en cursos de mecatrónica) y profesionalmente no es típico conectar 6 PLC's, lo que sí es común es conectar sólo un PLC con muchos canales. El no haber hecho esta simulación pudo haber ocasionado la adquisición de componentes extras para experimentar, lo que es sinónimo de gastos innecesarios.

De manera física, las 6 placas de Arduino estarían conectadas vía USB sobre una tarjeta expansora conectada al puerto PCI Express de la motherboard de la computadora de control.

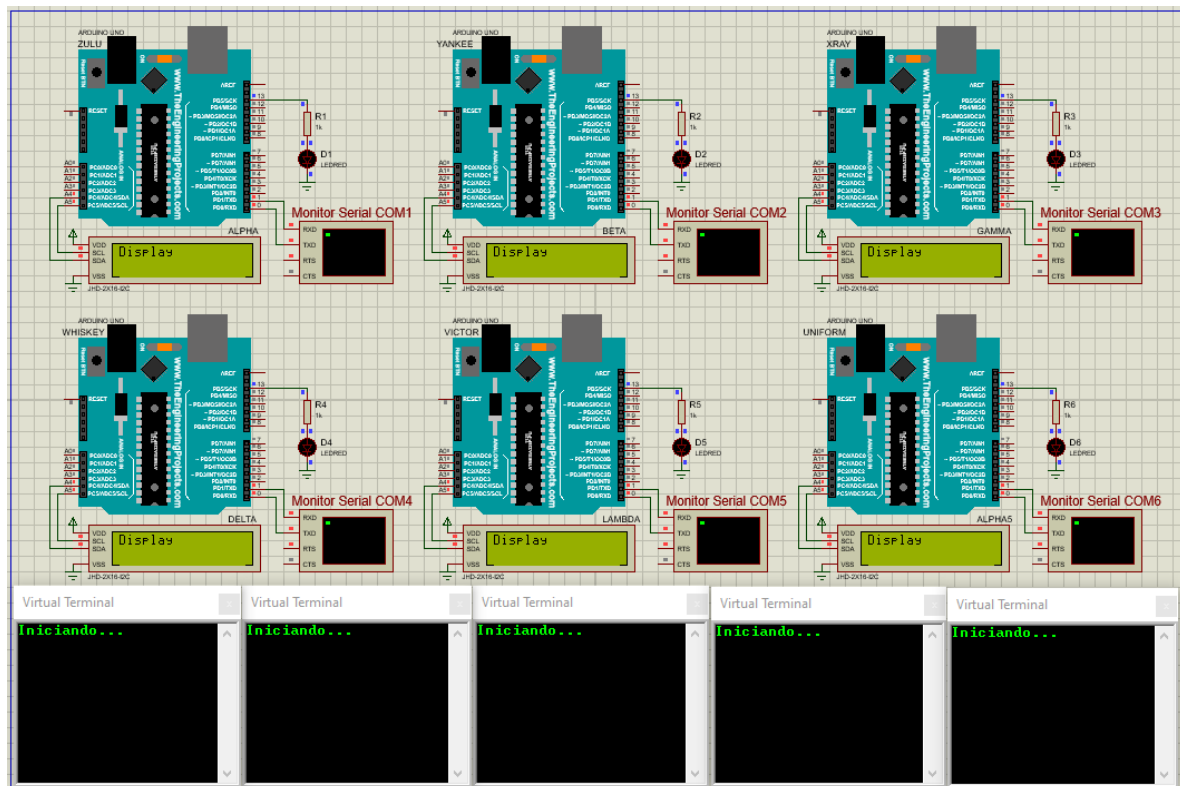


Figura 30 Espacio de trabajo de Proteus. 5 placas por 5 canales diferentes y simultáneos. La sexta placa es para los relés.

3. En la simulación de lazo de control con el software Simulink™ se determinó que el sistema en cuestión era controlable, que era un sistema de segundo orden, y que era del tipo oscilatorio. También, se obtuvo el valor de sobre impulso, y tiempo de restablecimiento lo cual sería útil al momento de escribir el algoritmo de arranque del sistema. Además, fue auxiliar durante el proceso iterativo de obtención de valores de las constantes proporcionales, integrales y derivativas para la respuesta de control.

Para la obtención de la respuesta de control se utilizó la herramienta de Matlab llamada PID Tunner, para esto fue necesario las funciones de transferencia del sistema y de la válvula de control, las cuales fueron obtenidas semi analíticamente

(de éstas se hablará más adelante). Dichas funciones fueron insertadas en el algoritmo de control, además de algunos otros parámetros como ganancias estáticas para aminorar errores en estado estacionario y perturbaciones controladas para evaluar el desempeño dinámico del sistema a posibles eventualidades. Con toda esta información se obtuvieron las constantes proporcionales, integrales y derivativas.

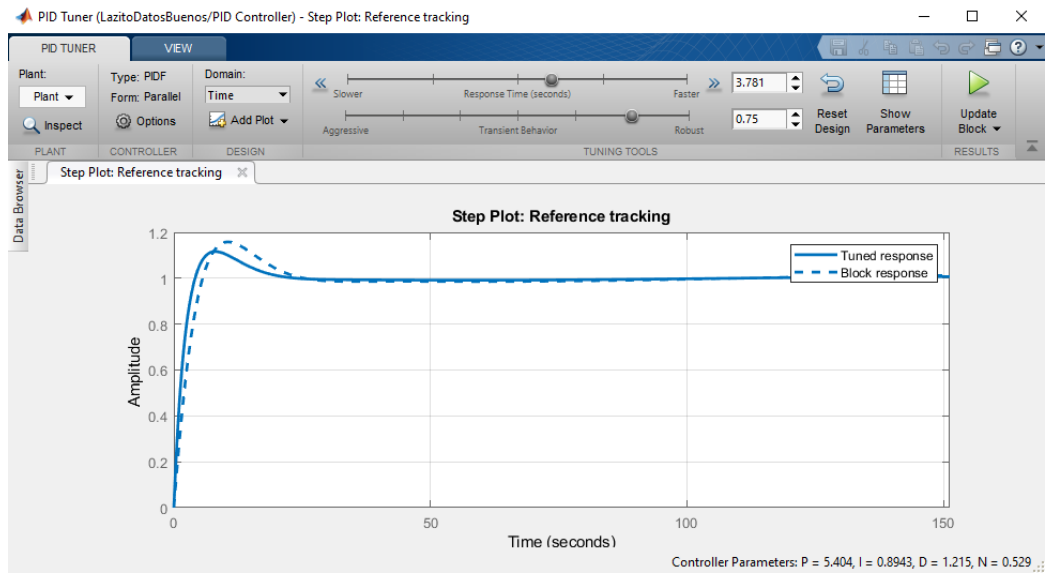


Figura 31 PID Tunner de Matlab, útil para la obtención automática de las constantes con opción a sintonización manual.

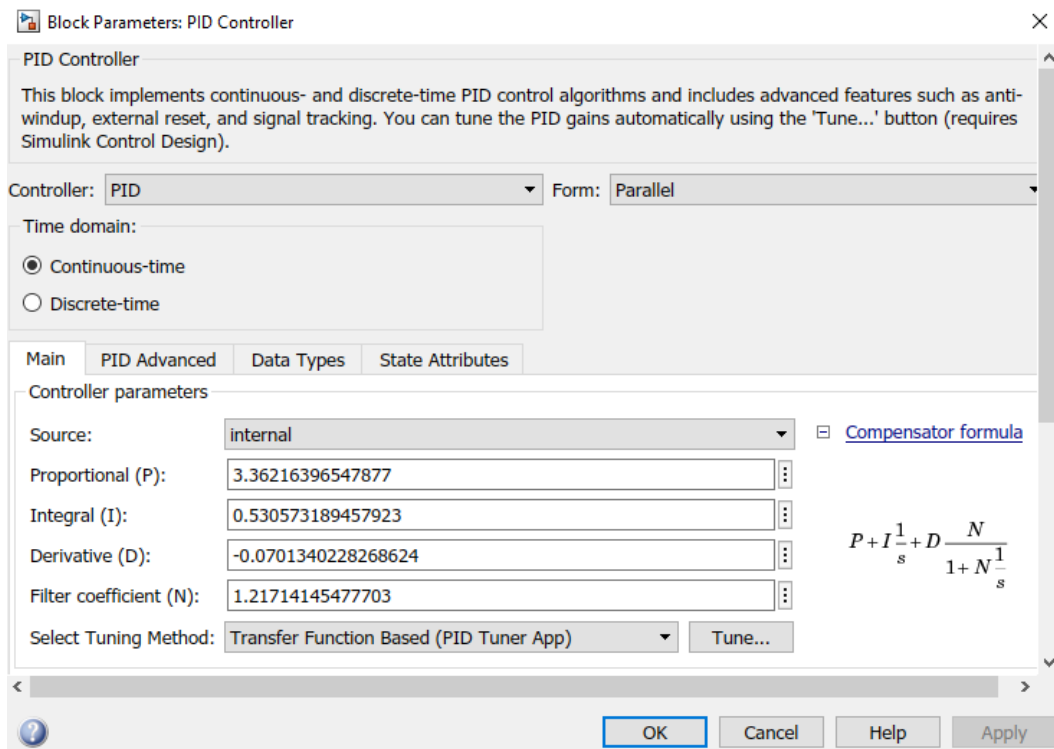


Figura 32 Constantes proporcional, integral y derivativa obtenidas.

Los procesos de experimentación arrojaron los siguientes resultados:

1. Conectar todos los sensores a una sola placa de Arduino ahorra mucho trabajo a costa de sacrificar eficiencia; conectar los 22 sensores a la misma placa (esto se simuló en Proteus con una placa de Arduino DUE la cual cuenta con 54 canales) ocasiona un retraso en la transmisión de datos de al menos 5 segundos, lo que entorpece e invalida la practicidad que busca satisfacer la implementación de sensores. Al distribuir los sensores en varias placas el retraso es menor a un segundo.

Con respecto a la programación en el entorno de Arduino, se encontró que agrupar las mediciones ya procesadas en un arreglo y transmitir las a Matlab resulta mucho mejor que mandar una por una. La diferencia representa un retraso de 2 segundos.

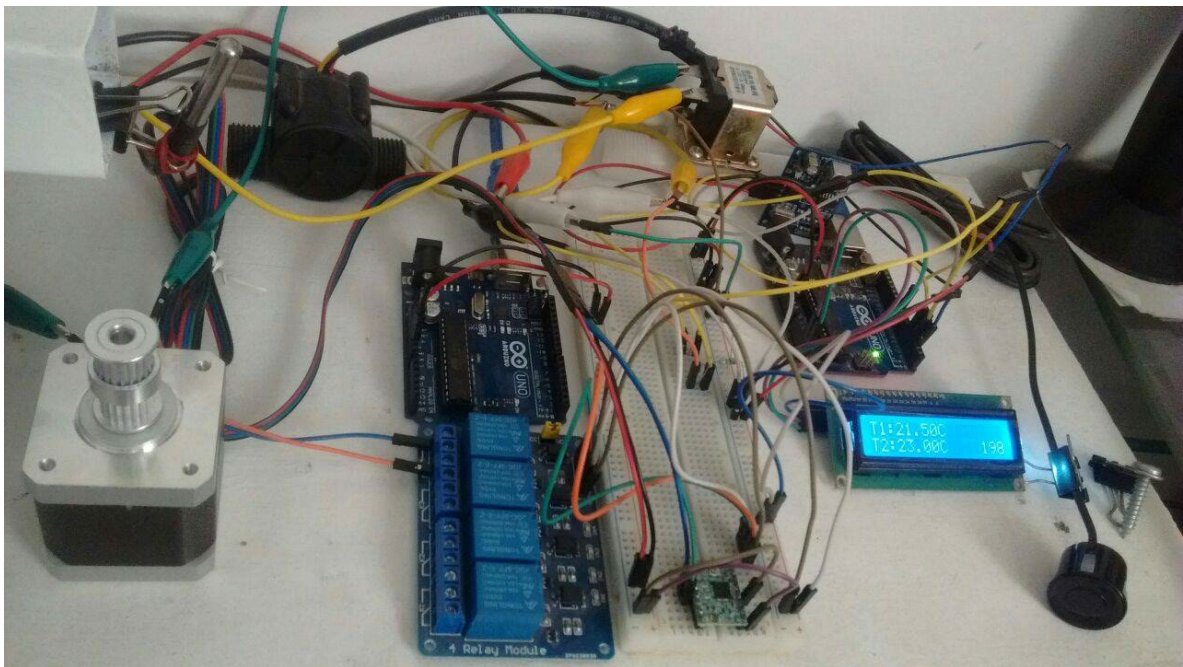


Figura 33 Espacio de trabajo electrónico.

2. La función de transferencia fue obtenida utilizando System Identification de Matlab; primero se obtuvo una "ideal" para realizar análisis superficiales, y posteriormente se corrigió readaptándola a las características obtenidas semi analíticamente.

Para la obtención de la función de transferencia fueron necesarios datos de variación de temperatura en función del porcentaje de apertura de la válvula. Para conseguir esto, a partir del balance de energía del intercambiador de calor de doble tubo se obtuvo una función sobre la variación de temperatura de salida del fluido de

proceso a partir del caudal del suministro del fluido de servicio; con el caudal se encontró su equivalencia a porcentaje de apertura tomando en cuenta lo siguiente:

- Durante los cálculos hidráulicos se determinó que con la válvula completamente abierta y con 40 cm de nivel de líquido, el flujo sería de 21.3 L/min. En este caso como el caudal se vería modificado por la bomba existe la opción de ajustarlo ya sea utilizando una válvula de globo manual o variando la velocidad de la bomba.
- Con los cálculos térmicos se determinó que para obtener 30°C en la salida del intercambiador es necesaria una corriente de 10.2 L/min.
- La válvula de globo da 5.25 vueltas, y es de obturador isoporcentual; quiere decir que con 48% de porcentaje de apertura (2.52 vueltas) el flujo será de 10.2 L/min

Con la función del balance de energía se obtuvieron dos series de datos, los de temperatura y los de porcentaje de apertura, de 400 muestras cada una, con un intervalo de muestreo de 1 segundo. Estos datos se introdujeron a System Identification (Figura 35), y con la mejor configuración, se consiguió un modelo de función de transferencia que se asemejaba al propuesto en 63% (según la literatura, el mínimo aceptable es de 60%), el cual resultó ser de segundo orden oscilatorio con tres polos y dos ceros.

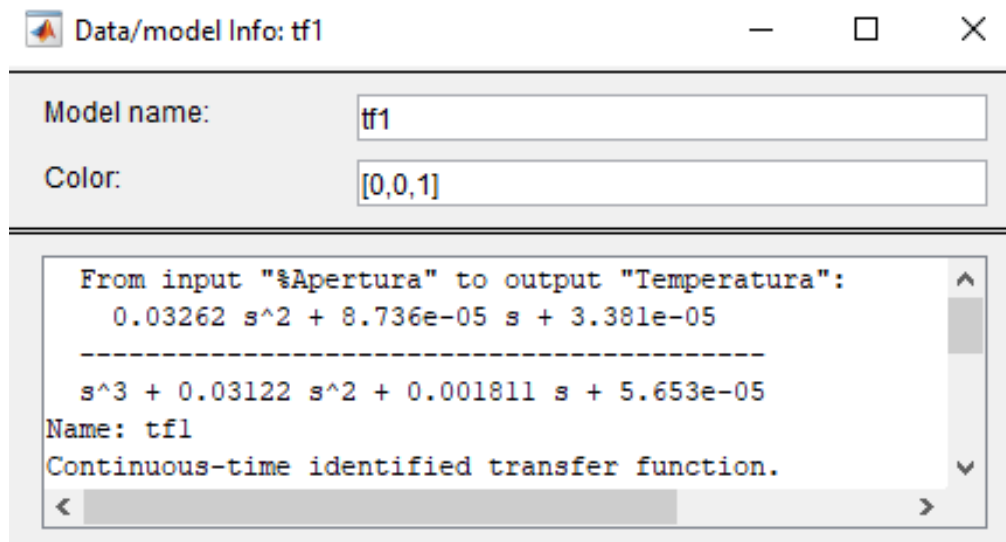


Figura 34 Función de transferencia obtenida.

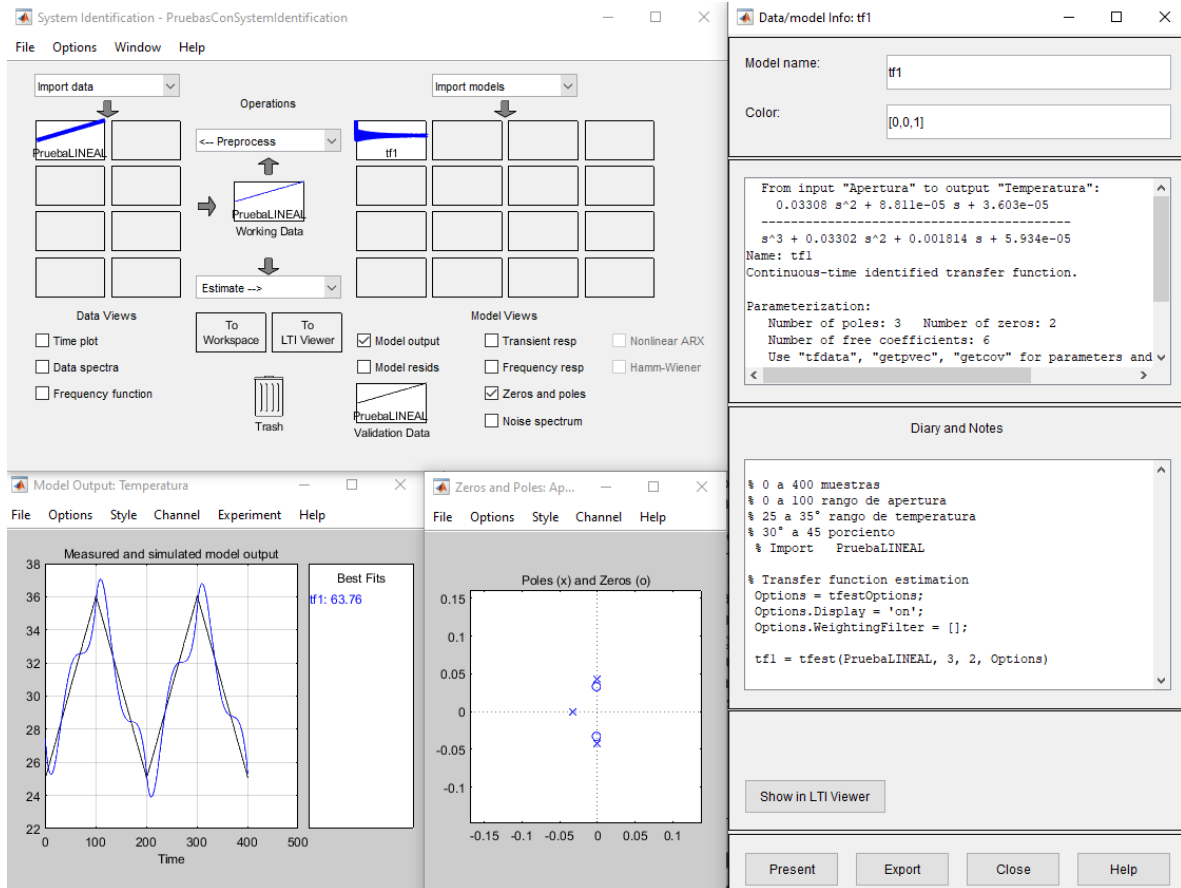


Figura 35 System Identification de Matlab.

Dicha función al ser evaluada por el algoritmo de control en Simulink (aún sin tomar en cuenta la respuesta PID), arrojó una gráfica (Figura 36, lado izquierdo) de la cual se observa que el sistema oscila y se estabiliza hasta el segundo 45, y que de sobre impulso rebasa a la condición de setpoint en un 60%, lo cual también se puede ver reflejado en la gráfica de la acción de control (Figura 36, lado derecho) en la que se aprecia un “bandazo” justo al inicio.

Tal cual se presenta el sistema, llama la atención el tiempo en que tarda en estabilizarse, 45 segundos para operar en zona segura y aproximadamente 100 segundos para emparejarse con el *setpoint*. De la gráfica de la acción de control llama la atención el pico que presupone “abrir al 110%” la válvula de control, lo cual obviamente resulta físicamente imposible.

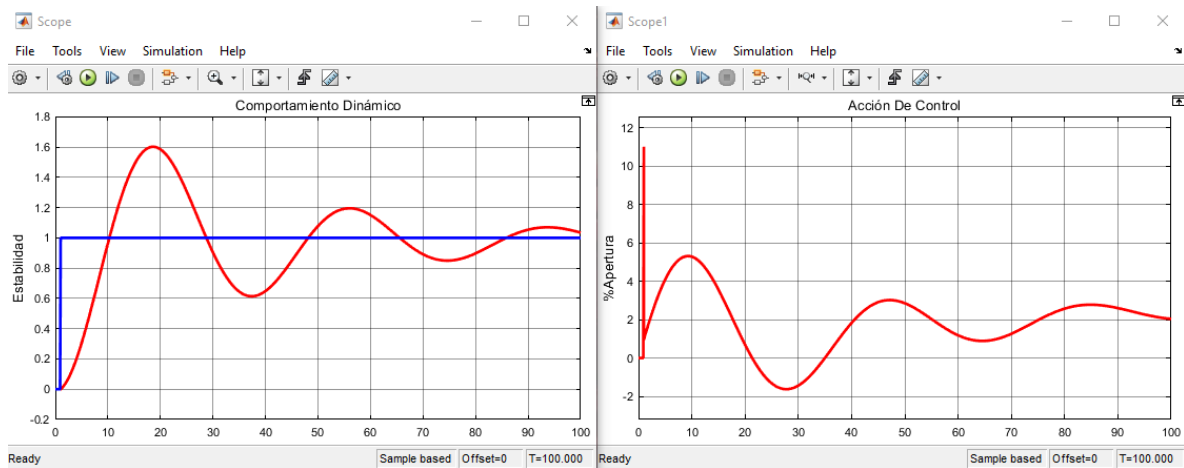


Figura 36 Comportamiento dinámico sin respuesta PID.

Al implementar una respuesta PID (obtenida con PID Tuner de Matlab) y una ganancia estática para atenuar el sobre impulso y tiempo de restablecimiento, se modificó considerablemente el comportamiento del sistema (Figura 37), volviéndolo estable desde el segundo 15 y completamente estacionario en el segundo 30, además de evidentemente volverlo físicamente posible, ya que el porcentaje de apertura no supera el 100%.

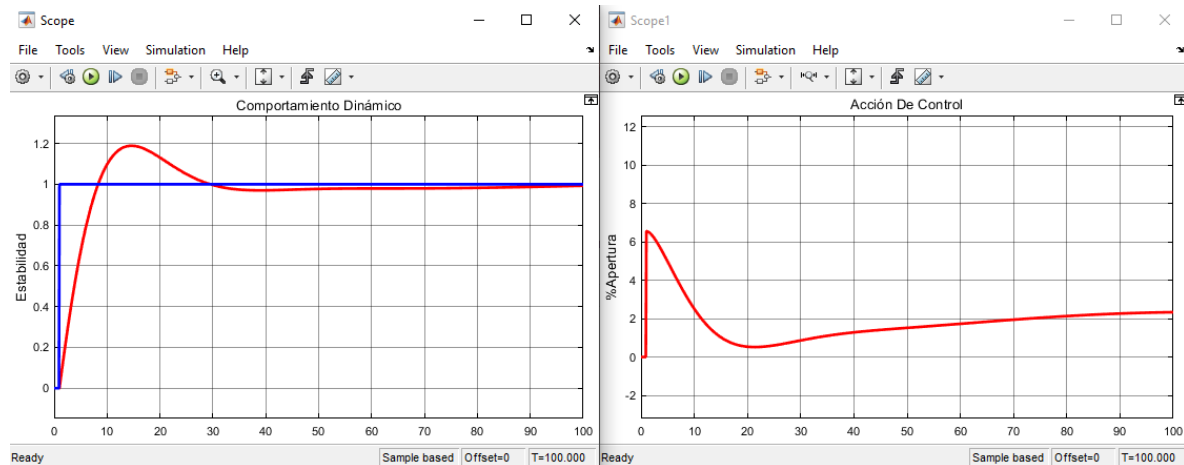


Figura 37 Comportamiento dinámico con respuesta PID.

3. Para especificar el rango operativo del intercambiador de calor de efecto Peltier, se configuró un experimento de monitoreo de temperatura en ambas terminales (de entrada y salida), evaluando la variación de temperatura de salida en función del porcentaje del potenciómetro del modulador de longitud de pulsos.

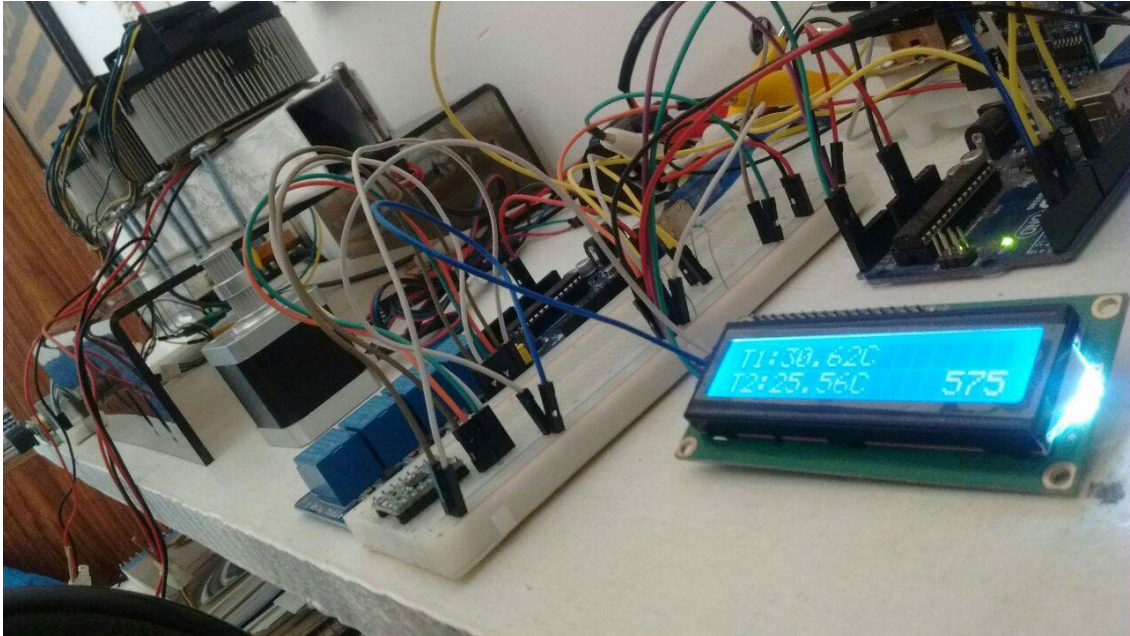


Figura 38 Enfriador de efecto Peltier con monitoreo de temperatura en sus 2 terminales.

Se configuró un sistema en el cual una corriente de aproximadamente 10 L/min de aire caliente a una temperatura constante de 30°C ingresa al intercambiador de efecto Peltier con el objetivo de enfriarla hasta 25°C. Los disipadores de las celdas Peltier están conectados en paralelo con el modulador de longitud de pulsos y por lo tanto operan a la misma velocidad. El suministro eléctrico de las tres celdas es de 12 Volts.

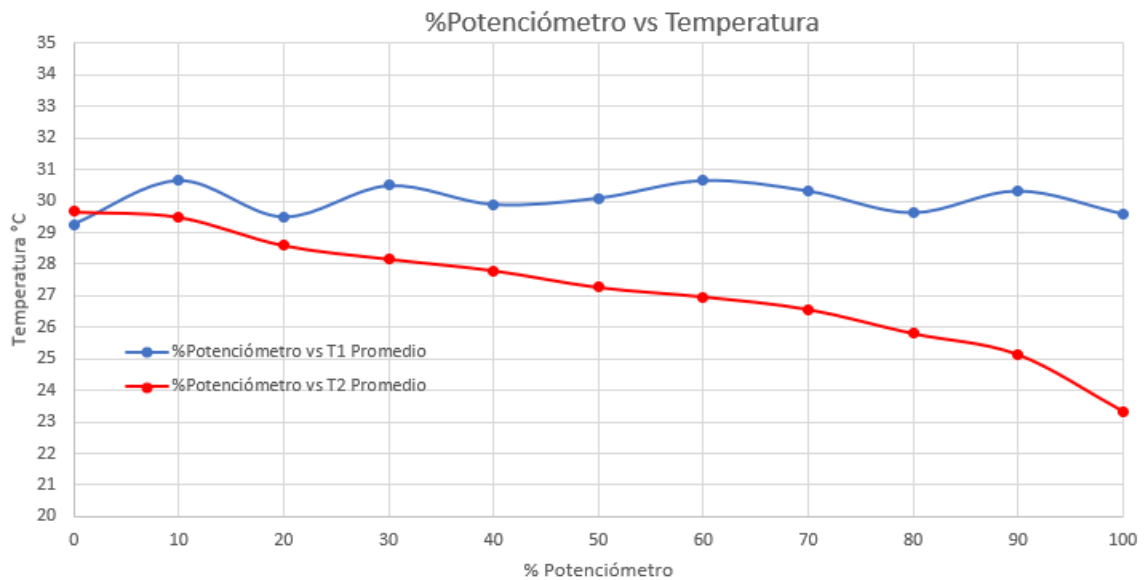


Figura 39 Variación de temperatura en función del porcentaje del potenciómetro del modulador de longitud de pulsos.

En la figura 39 se observa que al colocar el potenciómetro al 90 % se consigue que la temperatura de salida sea de 25°C. El incremento de temperatura no es inmediato, y es necesario un intervalo de tiempo de pre enfriamiento de la celda (aproximadamente 10 minutos) para caracterizar la temperatura de salida. En el supuesto de una hipotética integración del intercambiador de efecto Peltier al equipo modular, éste deberá ser recalibrado para adaptarse al fluido de proceso.

4. La válvula de control está construida a partir de una válvula de globo, un motor de pasos, y un acoplamiento que conecta los primeros dos elementos. Un motor de pasos típicamente es utilizado en *control numérico CNC* (tornos, fresas, impresoras 3d). El motor adquirido (NEMA 17) tiene sensibilidad de paso de 1.8°, quiere decir que con 200 pasos se consiguen 360° grados, es decir, una vuelta completa. Para controlar el motor de pasos es necesario un circuito auxiliar conocido como “Puente H”. Para transmitir el movimiento angular del semieje del motor es necesario la instalación de una polea dentada, la cual comúnmente es adquirida junto con el motor como accesorio.

Para transmitir el movimiento del motor a la válvula existía la dificultad de que no sólo era necesario transmitir el movimiento en forma radial, sino también de manera longitudinal, porque el manubrio de la válvula no solamente gira, sino que asciende y desciende como un tornillo.

La primera solución consistió en un motor de pasos acondicionado con un husillo a manera de actuador de posicionamiento longitudinal, el cual resuelve situaciones como la ya mencionada. El problema recayó en que para que funcione adecuadamente debe existir sinergia entre la espiral del husillo y de la espiral del vástago de la válvula de globo. Según la especificación del motor de pasos con husillo, por cada vuelta el husillo asciende 8mm, mientras que la válvula de globo por cada vuelta asciende aproximadamente 1mm.

En una configuración mecánica, es físicamente imposible que un tornillo se desplace “más” de una sección que de otra.

La segunda solución consistió en transmitir el movimiento circular con una cadena o banda (como la de una bicicleta o la de un alternador de auto), pero al existir el ascenso y descenso del manubrio de la válvula, la banda o cadena no se mantendría completamente horizontal y el grado de inclinación propiciaría desajustes constantes.

La solución definitiva consistió en el diseño de un engrane concéntrico atornillado al manubrio de la válvula acoplado a la polea dentada, que tuviese la flexibilidad de desplazarse verticalmente 1 mm a medida que se cierra o abre la válvula.

La válvula de control construida tiene la precisión de 1.8° de paso, pero como no es menester tal grado de precisión, se configuró para dar pasos de 18° , así, por cada 20 pasos de 18° se da una vuelta completa, lo cual también brinda una respuesta de control más rápida.

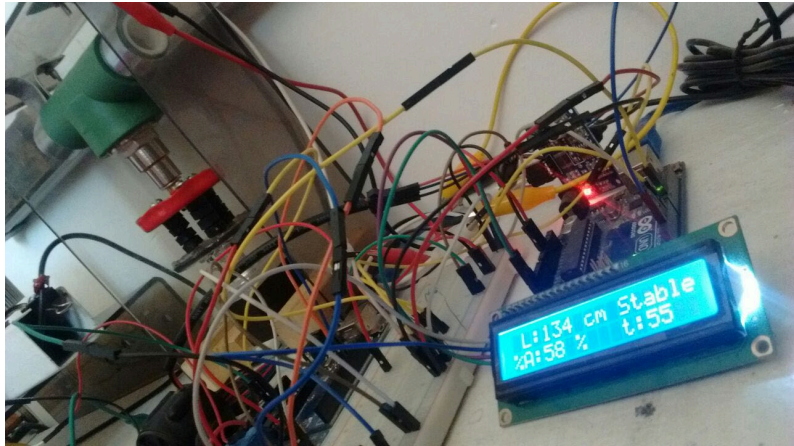


Figura 40 Válvula de control con monitoreo de porcentaje de apertura.

5. Para la obtención de datos, ejecución de acciones y secuencia de arranque y paro, se programaron tres algoritmos dentro de la IDE de App Designer. El de obtención de datos ejecuta acciones dentro de una condición inalcanzable (en este caso se utilizó un *statement* “while”), el de ejecución de acciones utiliza “callbacks”, por último, el algoritmo de arranque se pregunta así mismo sobre el estado de las variables utilizando *statements* “if else”. Dichos algoritmos que lejos de ser la mejor manera de obtener datos en tiempo real, prender/apagar equipos y automatizar acciones secuenciales, comparado con los métodos comerciales sofisticados, resultaron ser funcionales durante la experimentación, y por tanto fueron designados como definitivos. En los siguientes párrafos, se describe el funcionamiento general de cada uno.

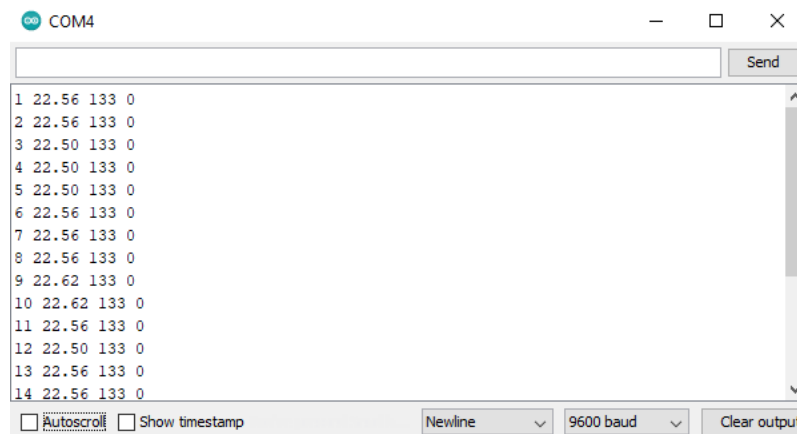


Figura 41 Monitor serial de una de las placas de Arduino. Cada segundo se actualiza y muestra las nuevas mediciones de los sensores.

Desde la interfaz gráfica de usuario (GUI) a cada segundo se solicita a cada una de las placas (4 de 6) los arreglos que contienen las variables; tomaremos como ejemplo al arreglo de la primera placa únicamente. Asumiendo que el arreglo sea [1 25 30 10], donde “1” es el tiempo de muestreo, “25” es la temperatura, “30” es

el nivel, y “10” es el caudal. El algoritmo de lectura de datos accede a cada índice del arreglo y los guarda en un arreglo nuevo exclusivo para cada variable, este proceso se repite cada segundo. Así, al cabo de 5 segundos y sin variaciones de temperatura tendríamos un arreglo de temperatura [25;25;25;25;25]. De esta

manera se obtienen lecturas en tiempo real y se guarda un registro para análisis póstumo.

La escritura de datos para prender y apagar equipos se ejecuta con “callbacks”, es decir, desde la interfaz se escriben líneas de código que asocian botones de la interfaz a manera de interruptores para los equipos, y al oprimirlos, se activa una función que desencadena acciones secuenciales. La respuesta es inmediata. Estas líneas de código están fuera del algoritmo de lectura de datos, ya que la comunicación Serial no permite escritura y lectura simultáneamente, es decir, si se usa una misma placa de Arduino para tratar de satisfacer las tareas de lectura y escritura, y se manda una acción de la interfaz a la placa de Arduino, se interrumpe la recepción de datos.

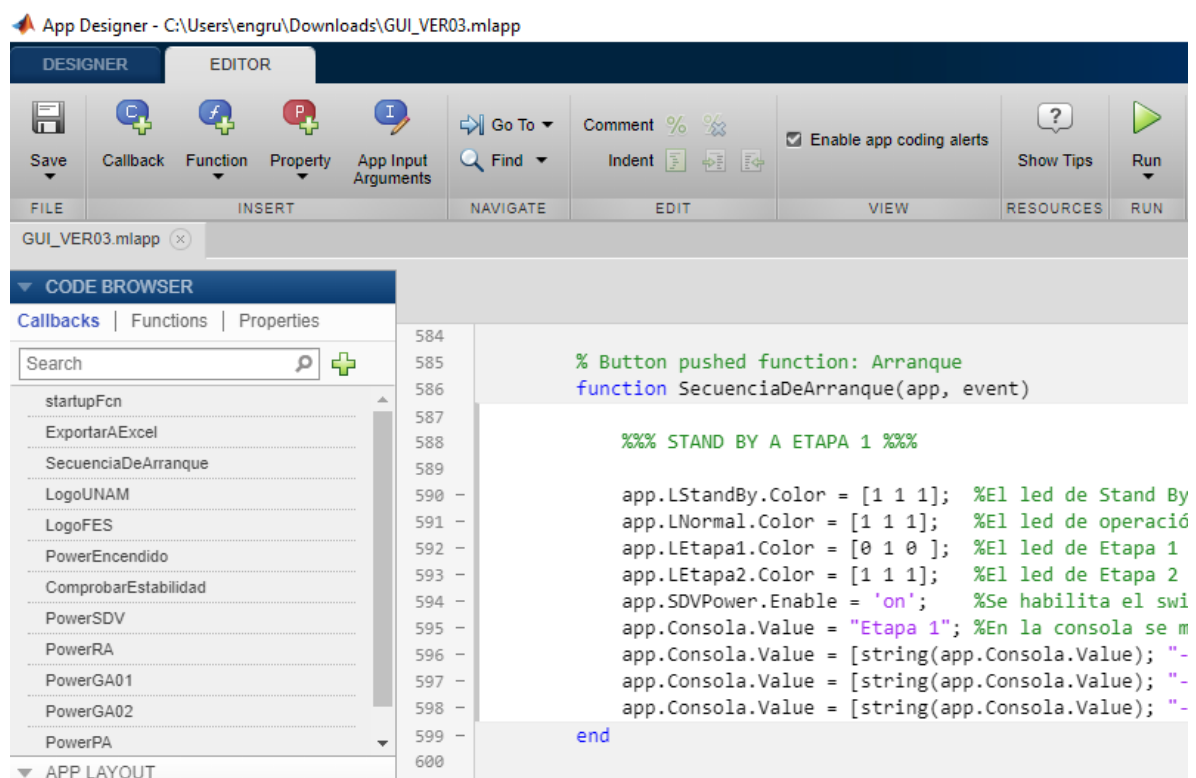


Figura 42 IDE de App Designer. En la columna de la izquierda están listadas las callbacks y funciones.

La secuencia de arranque y paro está programada de una manera en la cual la interfaz pide al operador que realice cierta acci3n, si esta acci3n se cumple (*if*) da permiso de seguir con la siguiente acci3n, si no se cumple la acci3n (*else*), manda notificaci3n de las acciones a corregir. El tiempo de respuesta es inmediato.


```

601 % Button pushed function: LogoUnam
602 function LogoUNAM(app, event)
603
604     %% ETAPA 1 A ETAPA 2 %%
605
606     app.Consola.Value = "Revisando nivel...";
607
608     if 50 < app.Le301.Value && app.Le301.Value < 150
609         app.Consola.Value = [string(app.Consola.Value); "-Se ha alcanzado el nivel adecuado en FA-01"; " "];
610     else
611         app.Consola.Value = [string(app.Consola.Value); "-Aún no se ha alcanzado el nivel adecuado en FA-01"; " "];
612     end
613     if 50 < app.Le311.Value && app.Le311.Value < 150
614         app.Consola.Value = [string(app.Consola.Value); "-Se ha alcanzado el nivel adecuado en FA-02"; " "];
615     else
616         app.Consola.Value = [string(app.Consola.Value); "-Aún no se ha alcanzado el nivel adecuado en FA-02"; " "];
617     end
618     if 50 < app.Le321.Value && app.Le321.Value < 150
619         app.Consola.Value = [string(app.Consola.Value); "-Se ha alcanzado el nivel adecuado en FA-03"; " "];
620     else
621         app.Consola.Value = [string(app.Consola.Value); "-Aún no se ha alcanzado el nivel adecuado en FA-03"; " "];
622     end
623     app.Consola.Value = [string(app.Consola.Value); "-Oprimir el logo de la UNAM para revisar nuevamente..."; " "];
624
625     if (50 < app.Le301.Value && app.Le301.Value < 150) && (50 < app.Le311.Value && app.Le311.Value < 150) && (50 <

```

Figura 43 IDE de App Designer. Declaración de statements if else para el sistema de arranque.

6. Finalmente, cada uno de los documentos emitidos como paquete de ingeniería (y que pueden consultarse en los anexos) atravesaron numerosas modificaciones a lo largo de todas las etapas del proyecto; a decir verdad, no hubo ni un solo documento que no recibiera modificación, siendo el diagrama de tuberías e instrumentación el que más atención recibió (9 ediciones). El formato de documentación buscó asemejarse a los estándares de calidad vigentes en las firmas de ingeniería. Todos los planos fueron elaborados en AutoCAD.

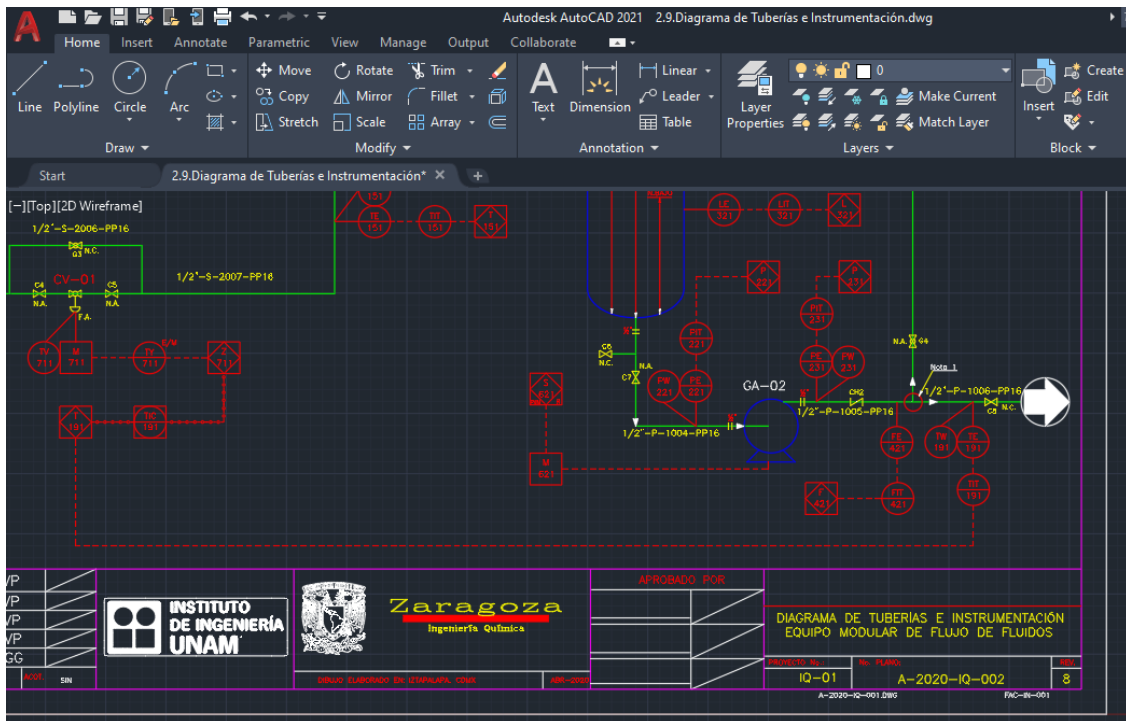


Figura 44 Elaboración de planos en el software AutoCAD.

7. Discusión

1. En esta tesis se desarrolló el trabajo técnico documental sobre la propuesta de un módulo operacional para la planta piloto del campo dos de la FES Zaragoza. Es un trabajo que parte de la conceptualización de un equipo modular conformado por un conjunto de operaciones unitarias, y desarrolla los aspectos técnicos y administrativos para presentarlo como un “libro blanco de proyecto”.

Según Castillo (1997) un buen proyecto está caracterizado por ser completamente descriptivo por sí mismo, es decir, que no son necesarios documentos adicionales para su comprensión. En el trabajo de Castillo (1997) también se menciona que el incluir poca información es tan grave como incluir información en exceso en forma de documentos irrelevantes.

Para el presente trabajo se seleccionaron aquellos documentos que se consideraron esenciales desde una perspectiva de ingeniería química (Dfp, Dti, hojas de datos, etc), además de incluir algunos de otras especialidades (electrónicos, acabados, etc.) asumiendo qué, desde un enfoque de ingeniería de proyectos, el proyecto en cuestión no estaría completamente explícito sin incluirlos.

Con respecto a la duración del proyecto, típicamente las actividades y redacción de documentos están cuantificados en horas-hombres, y la asignación de determinadas horas-hombre para cada documento depende de la complejidad del mismo documento, siendo diferente para cada proyecto. Profesionalmente, el tiempo de documentación del proyecto se planea de manera tal que diferentes departamentos especializados trabajen sobre sus documentos de manera simultánea y de esta manera ahorrar tiempo. Aclarado esto, para efectos de justificación en este trabajo, se ha optado por omitir un análisis comparativo entre una distribución de trabajo típico de una empresa ingenieril con el redactado en esta tesis, en el entendido de que el presente proyecto fue desarrollado por una sola persona y la comparación de la modalidad de trabajo con el esquema típico de las firmas de ingeniería resultaría inútil.

La asignación de jornadas de trabajo para cada actividad y redacción de documentación tomó como pauta la experiencia del autor, dando mucho más tiempo para la programación, y menos tiempo para cálculos hidráulicos y dibujos isométricos. La ingeniería preliminar del proyecto fue finalizada en aproximadamente 6 meses, lo equivalente a un semestre de actividades académicas universitarias.

2. El intercambiador de calor de doble tubo resultó inconvenientemente de dimensiones mayores a las originalmente planeadas, dicha problemática derivó consecuentemente en el incremento sustancial de las dimensiones totales del equipo modular. Kern (1999) y Cao (2010) en sus respectivas obras mencionan precisamente que, aunque los intercambiadores de calor de doble tubo representan

la opción más sencilla para cuestiones de transferencia de calor, también resultan ser de aplicaciones muy limitadas en términos prácticos debido a la modesta superficie de transferencia de calor que aportan.

3. El sistema de bombeo y distribución hidráulica de una instalación industrial debe configurarse atendiendo a las restricciones económicas y operativas del proceso, encontrando un balance entre la inversión de capital de las tuberías, accesorios y equipos dinámicos y el ahorro que presupondría la configuración necesaria para disminuir las pérdidas de carga por fricción. Justamente Cooker (2007) en su obra remarca este punto de partida.

El sistema de bombeo y distribución propuesto en este trabajo (después de obviamente cumplir con los requerimientos técnicos, operativos y de seguridad) pretende satisfacer principalmente el ahorro en el costo de tuberías, equipos y accesorios, representando un poco más del 13% del total del costo del proyecto, que, según Cooker (2007), deberá encontrarse en el intervalo del 20 al 30% como recomendado. Es evidente que este intervalo dependerá también de la complejidad del proceso.

4. Para la realización del proyecto se tomó como inspiración el concepto de la automatización, se construyó un sistema de monitoreo en tiempo real y también se construyó una válvula de control configurada en un lazo de control *feedback* con respuesta PID; ambas labores aplicadas a la ingeniería química. El tiempo de respuesta del sistema de monitoreo es de un segundo entre mediciones y la válvula de control se estabiliza en 15 segundos después de amortiguar una perturbación.

Seborg (1990) en su obra menciona que para saber si el sistema de control es “el correcto” se deben evaluar diferentes alternativas, es decir, diferentes estrategias (*feedback*, *feedforward*, cascada), diferentes modelos (función de transferencia, espacio de estados, sistemas con delay), diferentes respuestas (PI, PID, PI+D), y de todas las posibilidades aceptar como “la correcta” la mejor de todas.

Para el sistema de control de este proyecto se probaron diferentes modelos (de primero, segundo y tercer orden), diferentes respuestas (PI, PID) y al final se aceptó como “suficientemente correcta” aquella configuración que está documentada en el capítulo de resultados, cuyos parámetros permiten la estabilización del sistema en 15 segundos sin oscilaciones abruptas.

5. El intercambiador de efecto Peltier a pesar de cumplir con la función para la que fue diseñado, no terminó de ser tan eficiente como se esperaba, es decir, el rango operativo no resultó tan flexible como idealmente debería de serlo. Para aumentar la capacidad de enfriamiento del intercambiador propuesto habría que disminuir el área de sección transversal del conducto, adelgazar las paredes del conducto en contacto con las celdas, utilizar disipadores con más potencia, etc. Por otra parte, la variación de la temperatura en función de la variación PWM funcionó de manera correcta.

Veljko Zlatic (2014) menciona que el desarrollo tecnológico termoeléctrico no está tan explorado como otras áreas de la termodinámica, al menos en cuanto a aplicaciones de intercambio de calor se refiere. Sin embargo, el resultado no tan eficiente obtenido en el intercambiador de calor propuesto no se derivó de limitaciones físicas, sino de implicaciones técnicas.

6. La interfaz gráfica de usuario, al igual que el concepto general del equipo modular, terminó siendo completamente diferente a lo que se planeó. Al inicio solamente consistiría en una terminal de monitoreo con gráficos dinámicos como un osciloscopio; en cuanto a la apariencia, no se planeaba darle un carácter “profesional” porque se había establecido que únicamente el autor haría de su uso. Posteriormente se definió que la misma interfaz también haría de asistente operativo para los operadores (alumnos), y, por lo tanto, se caracterizó la apariencia de la interfaz para ser atractiva, amigable e intuitiva, tal cual lo indica Galitz en su obra:

La interfaz gráfica de usuario es lo más importante de un sistema computacional, ya que resulta ser el sistema como tal para lo mayoría de los usuarios. Puede ser visto, puede ser escuchado, y puede ser tocado. Los montones de líneas de código de la interfaz son invisibles, están ocultos detrás de la pantalla, del teclado y del ratón. El objetivo del diseño de interfaces es simple: hacer el trabajo de la computadora fácil, productivo y disfrutable. (Galitz, 2007)

8. Conclusión

El objetivo principal del presente trabajo de tesis fue el desarrollo documental de un proyecto integrador de los conceptos de la carrera de ingeniería química desde la perspectiva de ingeniería de proyectos. Para lo cual se sirvió de una propuesta de equipo modular que incluye y no se limita a abarcar temas principalmente de las asignaturas de flujo de fluidos, transferencia de calor, dinámica y control de procesos, ingeniería de proyectos, etc.

Se determinó que la especificación documental del proyecto se alcanzó de manera satisfactoria al cumplir con los siguientes objetivos específicos:

- Referente a ingeniería de proyectos, se programaron las actividades siguiendo un esquema de trabajo (modificado) de una firma de ingeniería, estableciendo tiempos para la planificación, realización y documentación de actividades. Los documentos generados fueron sujetos a un proceso de revisión y aprobación antes de ser considerados como definitivos.
- Referente a flujo de fluidos, se calculó y especificó una red de bombeo y distribución hidráulica, cuyas características de pérdidas de presión y de carga se encuentran en un rango de valores operativos seguros para los que fueron diseñados.

- Referente a diseño de equipo, se seleccionaron recipientes que se adecuasen a los requerimientos del proceso, tomando como pauta el ajuste operativo y presupuestario, pero sin dejar de lado las consideraciones físicas, químicas y mecánicas pertinentes.
- Referente a transferencia de calor, se calculó y diseñó un intercambiador de calor de doble tubo que cumple las especificaciones operativas del equipo modular, además del diseño experimental de un intercambiador termoeléctrico de efecto que Peltier, que, si bien no se desempeña en el punto de máxima eficiencia esperado, cumple con la función para el que fue diseñado.
- Referente a ingeniería eléctrica, se especificó y documentó un sistema de subestación y distribución de terminales eléctricos de 120 v para equipos dinámicos y de 12 y 5 v para sistemas electrónicos.
- Referente a dinámica y control de procesos, se configuró un sistema de monitoreo en tiempo real de variables de temperatura, presión, nivel, flujo, intensidad, velocidad y posición. Además de la configuración e implementación de un lazo de control *feedback* con respuesta PID sobre una válvula de control diseñada experimentalmente.
- Referente a las herramientas computacionales:
 - Se realizaron 16 planos generales y de detalle en AutoCAD™
 - Se realizó la maqueta 3D del sistema en el software SketchUp™
 - Se automatizaron algoritmos en hojas de cálculo de Excel™
 - Se programó el balance de materia y energía en el simulador PROII™
 - Se programó la simulación electrónica en el software Proteus™
 - Se configuró el algoritmo de control en el simulador Simulink de Matlab™
 - Se determinó la función de transferencia del lazo de control con la extensión System Identification de Matlab™
 - Se determinó la respuesta PID del lazo de control con la extensión PID Tunner de Matlab™
 - Se configuró en físico el sistema de monitoreo y control con el software/hardware de Arduino™
 - Se programó la interfaz gráfica de usuario como terminal de monitoreo y control del equipo modular en la IDE App Designer de Matlab™

Finalmente, como fue especificado en el párrafo del planteamiento del problema, el presente trabajo buscó hacer énfasis particularmente en la introducción de cuestiones electrónicas de monitoreo y control aplicado a los menesteres de la carrera de ingeniería química con la intención de incentivar a la comunidad académica a la exploración de conceptos más allá de los límites especificados en el mapa curricular de la carrera.

La intención trascendental de este trabajo es servir como guía para el proceso creativo, técnico e iterativo que conlleva la creación y documentación de un proyecto de ingeniería.

9. Referencias

- Altmann, W. (2005). *Process control for engineers and technicians*. Netherlands: Elsevier.
- Armando B. Corripio, C. A. (1997). *Principles and practice of automatic process control*. Usa: John Wiley & Sons.
- Bloomer, J. J. (2000). *Practical fluid mechanics for engineering applications*. New York: Marcel Dekker.
- Cao, E. (2010). *Heat transfer in process engineering*. Usa: McGraw Hill.
- Castillo, M. d. (1997). *Teoría general del proyecto Volumen I*. España: Síntesis S.A.
- Castillo, M. d. (1998). *Teoría general del proyecto Volumen II*. España: Síntesis S.A.
- Chhabra, R. P. (1999). *Non-Newtonian flow in the process industries fundamentals and engineering applications*. Great Britain: Butterworth Heinemann.
- Coker, A. K. (2007). *Ludwig's applied process design for chemical and petrochemical plants volume I*. Great Britain: Elsevier.
- Darby, R. (2001). *Chemical engineering fluid mechanics*. New York: Marcel Dekker.
- David I. Cleveland, W. R. (1983). *Systems analysis and project management*. Usa: McGraw-Hill.
- Galitz, W. O. (2007). *The essential guide to user interface design*. USA: Wiley Publishing .
- Howard F. Rase, M. B. (1968). *Project engineering of process plant*. USA: John Wiley & Sons.
- James E. Daily, D. R. (1975). *Dinámica de los fluidos con aplicaciones en la ingeniería*. México: Trillas.
- Karris, S. T. (2006). *Introduction to Simulink with engineering applications*. Usa: Orchard Publications.
- Kern, D. Q. (1999). *Process heat transfer*. México: McGraw Hill.
- Luecke, J. (2005). *Analog and digital circuits for electronic control system applications*. Usa: Elsevier.
- Luyben, W. L. (1997). *Essentials of process control*. Usa: MaGraw Hill.
- Madhow, U. (2008). *Fundamentals of digital communication*. United Kingdom: Cambridge.
- Martin S. Ray, D. W. (1989). *Chemical engineering design project A case study approach*. Great Britain: Gordon and Breach Science.
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos*. México: Pearson.
- Nakayama, Y. (1998). *Introduction to fluid mechanics*. Great Britain: Butterworth Herrmann.
- Neagu Bratu, E. C. (1995). *Instalaciones eléctricas*. México: Alfaomega.
- Quarteroni, A. (2001). *Scientific computing with Matlab*. Germany: Springer.

- Rohsenow, W. M. (1998). *Handbook of heat transfer*. Usa: McGraw Hill.
- Seborg, D. E. (1990). *Process dynamics and control*. Usa: John Wiley & Sons.
- Simmonds, A. (1997). *Data communication and transmission principles*. Great Britain: MacMillian.
- Smith, C. L. (2009). *Practical process control tuning and troubleshooting*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Streeter, V. L. (1966). *Mecánica de los fluidos*. Usa: McGraw-Hill.
- Tewari, A. (2002). *Modern control design with matlab and simulink*. England: John Wiley & Sons.
- Veljko Zlatic, R. M. (2014). *Modern theory of thermoelectricity*. United Kingdom: Oxford.
- Warren, J.-D. (2011). *Arduino Robotics*. Usa: Apress.
- Yarlagadda, R. K. (2010). *Analog and digital signals and systems*. Usa: Springer.



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Anexo 1 Ingeniería Conceptual



Anexo 1

Ingeniería Conceptual

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Agosto 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	1



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Ingeniería Conceptual



Presentación

Equipo modular de flujo fluidos con intercambio de calor digitalmente monitoreado y automatizado, auxiliar en la formación académica a nivel licenciatura; con la intención de integrarse a la flotilla de quipos de la planta piloto de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza Campo 2, bajo la coordinación de la carrera de Ingeniería Química.

Funciones

El equipo modular busca, y no se limita, a ser auxiliar como herramienta de apoyo académico/práctico de la carrera de Ingeniería Química en las siguientes asignaturas:

1. Balance de masa y energía
 - Conservación de la materia
 - Conservación de la energía
 - Régimen permanente
2. Química Industrial
 - Operaciones unitarias de flujo de fluidos
 - Operaciones unitarias de transferencia de calor
3. Diseño de equipo
 - Selección de materiales
 - Algoritmos de diseño
4. Flujo de fluidos
 - Fluidos incompresibles
 - Tuberías, válvulas y accesorios
 - Hidrodinámica
 - Bombas centrífugas
 - Válvulas de control
5. Transferencia de calor
 - Mecanismos de transferencia de calor
 - Intercambiadores de calor de doble tubo
6. Dinámica y control de procesos

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Agosto 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	1



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Ingeniería Conceptual



- Instrumentos
- Lazos de control
- Estrategias de control
- Estabilidad
- 7. Ingeniería de proyectos
 - Administración de actividades
 - Documentación

Alcance

El alcance del proyecto incluye documentación, diseño, especificación, adquisición de equipos, instrumentos y materiales, construcción, instalación, acabados y pruebas de arranque del equipo modular.

Viabilidad técnica

Los sistemas hidráulicos, térmicos, estructurales, eléctricos, electrónicos y digitales del equipo modular fueron, por una parte, planeados construidos y sustentados en base a un marco teórico que respalda su funcionamiento, y por otra parte, resultado de consideraciones heurísticas y empirismos obtenidos después de etapas previas de experimentación.

Las condiciones de operación del equipo modular fueron definidas para garantizar una operación segura para el equipo y los operadores del mismo, no se buscó conseguir eficiencia operativa máxima. Todo esto en el entendido de que se trata de satisfacer fines académicos y no comerciales.

Viabilidad económica

El equipo modular no busca ser comercializado, y está diseñado para cumplir funciones específicas en una institución en particular. Tampoco se espera obtener beneficios económicos derivados de la operación del mismo.

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Agosto 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	1



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Anexo 2 Ingeniería Básica



Anexo 2 Ingeniería Básica

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Agosto 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	2



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Bases de Diseño



Bases de Diseño

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Cuarta
V. Villar			# Documento	2.1



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.



Bases de Diseño

Bases de diseño

A) Generalidades

El equipo modular consiste en un sistema de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y automatizado utilizando como plataforma de enlace el software/hardware Arduino, controlado por una interfaz gráfica de usuario programada en Matlab. Operacionalmente tiene la función de calentar agua; trascendentalmente tiene la función de ser una herramienta académica auxiliar en la enseñanza de las asignaturas de balance de materia y energía, flujo de fluidos, transferencia de calor y control de procesos.

B) Factor de servicio

El equipo modular operará de manera intermitente.

C) Capacidad

Capacidad de diseño	0.8	10 L/min 30°C
Capacidad máxima	1.0	15 L/min 30°C
Capacidad mínima	0.6	5 L/min 30°C

D) Flexibilidad

1. Falla eléctrica

El equipo modular requiere energía eléctrica para funcionar.

2. Falla de suministro de vapor.

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Cuarta
V. Villar			# Documento	2.1



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Bases de Diseño



El equipo modular no requiere vapor.

3. Falla de suministro de agua de enfriamiento.

El equipo modular no requiere agua de enfriamiento.

4. Falla de aire de instrumentos.

El equipo modular no requiere aire de instrumentos.

E) Especificación de alimentación

Componente	%
Agua	100

F) Especificación de los productos

Componente	%
Agua	100

G) Condición de alimentación en límites de batería

Estado físico	Líquido
Presión	14.7 Psi
Temperatura	24°C
Forma de recibo	Tubería
Densidad	1 g/cm ³

H) Condición de productor en límites de batería

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Cuarta
V. Villar			# Documento	2.1



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Bases de Diseño



Estado físico	Líquido
Presión	22 Psi
Temperatura	30°C
Forma de recibo	Tubería
Densidad	1 g/cm ³

I) Instalaciones requeridas de almacenamiento

El equipo modular no necesita almacenamiento externo.

J) Agentes químicos

El equipo modular no requiere agentes químicos.

K) Efluentes

El proceso genera agua para riego.

L) Sistemas de seguridad

El equipo modular cuenta con una válvula de solenoide para la secuencia de paro por emergencia.

M) Condiciones climatológicas

Temperatura más alta	30°C
Temperatura más baja	3°C
Promedio de lluvia anual	600 mm
Temperatura máxima promedio	27°C
Temperatura mínima promedio	13°C

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Cuarta
V. Villar			# Documento	2.1



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.



Bases de Diseño

Precipitación pluvial	138 mm (max), 3 mm (min)
Viento	10 km/hr, de sur a este
Humedad relativa	52%

N) Localización de la planta

El equipo modular se localizará en la planta piloto de la Fes Zaragoza, Campo 2, Iztapalapa, CDMX, México, en instalaciones cerradas.

O) Servicios auxiliares

1. Vapor

El equipo modular no requiere vapor

2. Agua para caldera

El equipo modular no requiere generar vapor de agua

3. Agua de servicio

El equipo modular requiere agua como servicio de calentamiento y enfriamiento. Ésta será continuamente acondicionada para dichos propósitos y sólo se necesita de abastecer una vez por ciclo de operación, es decir, no es necesario un suministro constante.

4. Refrigerantes

El equipo modular no requiere refrigerantes.

5. Electricidad

El equipo modular requiere suministro eléctrico para sistemas dinámicos y de monitoreo. Para voltajes de 5 y 12 V, se requiere una fuente conmutada de voltaje variable y para voltaje de 120 V se conectará a la red local.

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Cuarta
V. Villar			# Documento	2.1



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.



Bases de Diseño

Requerimiento	Voltaje	Frecuencia
Instrumentos	5 V	60 Htz
Actuadores	12 V	60 Htz
Panel de control y bombas	127 V	60 Htz

6. Aire de instrumentos

El proceso no requiere aire de instrumentos.

7. Drenaje

El equipo modular cuenta con válvulas de drenado en todos los puntos de acumulación de líquidos.

8. Comunicaciones

El equipo modular tiene la posibilidad de ser controlado remotamente, para esto se requerirá conexión a internet.

P) Normas y especificaciones

Para el diseño del equipo modular, se tomaron como referencia las siguientes normas y especificaciones:

Norma	Aplicable a
ASME B31.1	Tuberías
ASME/ANSI	Bombas
TEMA	Intercambiadores de calor
NEMA	Sistemas eléctricos
ISA 5.1/5.5	Instrumentación

Revisión	Autor	Fecha	Versión
A. Gómez	Velázquez Pedroza Ángel	29 Junio 2020	Cuarta
D. Salazar			
V. Villar			
		# Documento	2.1



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Criterios de Diseño



Criterios de Diseño

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Tercera
V. Villar			# Documento	2.2



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.



Criterios de Diseño

Criterios de diseño

a) Criterios básicos de diseño de proceso

1. Criterios de flexibilidad operativa

El equipo modular está diseñado bajo la consigna de alcanzar una condición de operación estable operando en un intervalo específico de variables.

2. Operación del equipo modular con diversas alternativas

El equipo modular está diseñado de manera tal que se pueda controlar la temperatura del fluido de proceso. Con algunos reajustes podría controlarse en su lugar el nivel de recipientes o flujos volumétricos.

3. Futuras expansiones

No se prevén futuras expansiones, sin embargo, se instalará un tapón roscado en límites de batería por si se buscara darle uso al agua de proceso en lugar de recircularla.

4. Cambios en condiciones de operación

La operación a diferentes condiciones está restringida por algunas características de equipos e instrumentos.

5. Accionadores para bombas y válvulas

El proceso cuenta con 2 bombas periféricas, las cuales serán impulsadas con energía eléctrica a 127V, ajustando su velocidad con modulación de longitud de pulsos (PWM), la válvula de control será emulada con una válvula de globo adosándole un motor de pasos en el vástago.

6. Disponibilidad de servicios auxiliares

El único servicio requerido es el de electricidad, el equipo modular necesita conexión a la red local de 127V para la estación de control y monitoreo. De la misma bajada

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Tercera
V. Villar			# Documento	2.2



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Criterios de Diseño



de 127V se instalará una fuente conmutada de voltaje variable para el abastecimiento de energía eléctrica para instrumentos.

7. Integración con plantas existentes

El proceso no está considerado para integrarse con algún otro equipo.

b) Criterios de diseño de los equipos

1. Selección del tipo de equipo

Los equipos e instrumentos seleccionados cumplen con el requisito de ser afines fisicoquímicamente a las sustancias de proceso, a ser de bajo costo, a ser de fácil adquisición y a garantizar seguridad operativa.

2. Flexibilidad y sobrediseño

Los tanques seleccionados tienen margen de tiempo de residencia suficiente para que no se desborden ni para que las bombas se queden sin succión en ningún momento. El intercambiador de calor de doble tubo tiene longitud extra como margen de error.

3. Parámetros y variables principales

En el proceso se tiene monitoreado de manera íntegra presión, temperatura, flujo, nivel, intensidad eléctrica, posición de válvulas y velocidad de las bombas. Se tiene controlada la temperatura de salida del fluido de proceso a partir del caudal del fluido de servicio.

4. Materiales principales

Los recipientes serán contenedores de polietileno, el intercambiador de calor de doble tubo será fabricado en cobre recubierto con Armaflex™, para tubería y accesorios se utilizará polipropileno Tuboplus™.

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Tercera
V. Villar			# Documento	2.2



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Criterios de Diseño



c) Criterios generales de diseño de proceso

1. Dimensionamiento de tuberías

Las tuberías serán de ½ pulgada en su gran mayoría, y las longitudes de tramo recto serán determinadas minimizando distancias y haciendo el análisis hidráulico pertinente para no superar los 10ft/s ni caídas de presión excesivas.

2. Espaciamiento de equipos

El espaciamiento de los equipos estará determinado con la intención de minimizar las dimensiones totales del equipo modular sin que esto repercuta con la operación ni con la seguridad. Adicionalmente, se dará margen para la instalación de señalamientos y puertos de monitoreo local.

3. Optimización de proceso

El proceso está sujeto a optimización, la cual está fuera del alcance del objetivo principal.

4. Integración térmica

El proceso cuenta con un circuito perpetuo de acondicionamiento de agua de servicio combinando un intercambiador de calor de doble tubo con un enfriador de efecto Peltier.

5. Lineamientos de control e instrumentación

El control será llevado a cabo con instrumentos operados con electricidad en su totalidad, y será manipulado desde la estación de control de manera digital y excepcionalmente de manera manual durante situaciones de emergencias.

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Tercera
V. Villar			# Documento	2.2



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Descripción del Proceso



Descripción del Proceso

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Cuarta
V. Villar			# Documento	2.3



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.



Descripción del Proceso

Descripción del proceso

El equipo modular tiene la función de calentar de manera continua hasta 10 L/min de agua hasta una temperatura de 30 °C en operación normal.

El proceso comienza con el almacenaje de agua de proceso a temperatura ambiente en el recipiente FA-01, es un proceso continuo y en ciclo, es decir, una vez llenado el tanque no será necesario volver a llenarlo. De la salida del mismo, se conduce el agua de proceso hasta el intercambiador de calor de doble tubo EA-01 en el cual el agua de proceso será calentada utilizando agua de servicio precalentada con una resistencia eléctrica. El agua de servicio es almacenada y calentada en el recipiente FA-02.

El servicio de agua de calentamiento también es un circuito cerrado, y sólo deberá de abastecerse de agua una vez. De la salida del recipiente FA-02 se bombea agua de servicio con la bomba GA-01 hacia la alimentación de servicio del intercambiador de calor EA-01, el caudal será regulado en función de la temperatura con una válvula de control operada con un motor de pasos. El agua de servicio será después recirculada al recipiente FA-02 para repetir el ciclo. De la descarga de la bomba GA-01 también se instalará una línea auxiliar de recirculación (antes de la válvula de control) hacia el recipiente FA-02 para proteger a la bomba.

De la salida de proceso del intercambiador de calor EA-01, el agua de proceso calentada se conduce y almacena en el recipiente FA-03, misma que posteriormente será bombeada con la bomba GA-02 hacia límites de batería. De la descarga de la bomba GA-02, también se instalará una línea de recirculación hacia el recipiente FA-01. Para restituir el agua de proceso a su condición de temperatura original durante la recirculación, sobre la línea se instalará un intercambiador de calor de efecto Peltier EA-02.

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Cuarta
V. Villar			# Documento	2.3



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Lista de Equipos



Lista de Equipos

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Cuarta
V. Villar			# Documento	2.4



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.



Lista de Equipos

Nombre	Descripción	Características
FA-01 Tanque de suministro 	Recipiente atmosférico utilizado para el almacenamiento temporal y abasto de agua de proceso durante la operación.	-Fabricado en polietileno -Capacidad: 60 L -Peso: 2.5 Kg vacío
FA-02 Depósito de agua caliente 	Recipiente atmosférico utilizado para el calentamiento de agua como servicio de agua de calentamiento para el proceso.	-Fabricado en polietileno -Capacidad: 60 L -Peso: 2.5 Kg vacío -Acondicionado con una resistencia eléctrica para calentar agua.
FA-03 Tanque de Salida 	Recipiente atmosférico utilizado como "buffer" de almacenamiento antes de límites de batería de salida.	-Fabricado en polietileno -Capacidad: 60 L -Peso: 2.5 Kg vacío


Revisión	Autor		Fecha	29 Junio 2020
A. Gómez	Velázquez Pedroza Ángel		Versión	Cuarta
D. Salazar			# Documento	2.4
V. Villar				



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.



Lista de Equipos

<p>EA-01 Intercambiador de Calor de Doble Tubo</p> 	<p>Intercambiador de calor de doble tubo fabricado en cobre con la función de calentar el fluido de proceso en contra corriente con el fluido de servicio.</p>	<p>-Fabricado en cobre -Aislado con Armaflex™ -Longitud: 1.2 m -Peso: 3.2 Kg</p>
<p>EA-02 Intercambiador de Calor de Efecto Peltier</p> 	<p>Intercambiador de calor fabricado con celdas Peltier y disipadores de calor en conjunto con un tramo de tubería modificada. Tiene la función de restablecer a la temperatura original (enfriar) al fluido de proceso.</p>	<p>-Número de celdas: 3 -Disipadores: 3 -Conducto: Zintro perfil cuadrado 44mm -Voltaje: 12 V -Peso: 3 Kg</p>
<p>GA-01/GA-02 Bomba de Servicio y de Proceso</p> 	<p>Bomba periférica utilizada como equipo de servicio para bombear agua hacia el intercambiador de calor de doble tubo, y como equipo de proceso para recirculación.</p>	<p>-NPSHd: 0.8121 ft @ 10 L/min -NPSHr: -- ft @ 10 L/min -Potencia: ½ Hp -Impulsor: ½” -Eficiencia: 80%</p>

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Cuarta
V. Villar			# Documento	2.4



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Balance de Masa y Energía



Balance de Masa y Energía

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Segunda
V. Villar			# Documento	2.5



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.



Balance de Masa y Energía

Corriente	1	2	3	4	5	6	7
Temperatura (°C)	25	25	30	30	30	30	25
Presión (Psi/Psia)	14.7a	14.35	14.25	14.55	23.20	20.40	17.40
Flujo másico (Kg/min)	Batch	10	10	10	10	10	10
Flujo volumétrico (L/min)	Batch	10	10	10	10	10	10
% Agua	100	100	100	100	100	100	100
Fracción de vapor	0	0	0	0	0	0	0
Fracción líquida	1	1	1	1	1	1	1
Densidad (Kg/m ³)	997.1	997.1	995.7	995.7	995.7	995.7	997.1
Viscosidad (cP)	0.891	0.891	0.798	0.798	0.798	0.798	0.891

Corriente	8	9	10	11	12	13	14
Temperatura (°C)	30	25	80	80	80	75	80
Presión (Psi/Psia)	21.75	14.7a	9.947	21.70	19.36	17.39	19.36
Flujo másico (Kg/min)	--	Batch	21.3	21.3	10.2	10.2	11.7
Flujo volumétrico (L/min)	--	Batch	21.3	21.3	10.2	10.2	11.7
% Agua	100	100	100	100	100	100	100
Fracción de vapor	1	0	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
Fracción líquida	0	1	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Densidad (Kg/m ³)	995.7	997.1	971.6	971.6	971.6	974.7	971.6
Viscosidad (cP)	0.798	0.891	0.355	0.355	0.355	0.378	0.355

*Batch: El proceso es del tipo intermitente, y sólo requiere abastecerse de agua una vez por ciclo de operación.

-En la corriente 1 son necesarios 81.6 L de agua (40.8 L para llenar 40 cm el recipiente FA-01, y 40.8 L para llenar 40 cm el recipiente FA-03)

-En la corriente 9 son necesarios 40.8 L para llenar 40 cm el recipiente FA-02

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Segunda
V. Villar			# Documento	2.5



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Requerimiento de Servicios Auxiliares



Requerimiento de Servicios Auxiliares

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	2.6



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Requerimiento de Servicios Auxiliares



Servicio: Energía Eléctrica (127 V)

Punto de Inyección: Subestación de la planta piloto – Terminal del gabinete eléctrico

Suministro: Ininterrumpido

Clave	Equipo	Voltaje	Fases	Potencia requerida	Potencia instalada
GA-01	Bomba de servicio	120 V	1	375 W	---
GA-02	Bomba de proceso	120 V	1	375 W	---
RA-01	Resistencia eléctrica	120 V	1	2000 W	---
FU-01	Fuente de voltaje variable	120 V	1	300 W	---
CO-01	Computadora de control	120 V	1	280 W	---

Servicio: Energía Eléctrica (12 V)

Punto de Inyección: Fuente de voltaje variable – Pcb de interconexión

Suministro: Ininterrumpido

Clave	Equipo	Voltaje	Fases	Potencia requerida	Potencia instalada
PA-01	Celda Peltier	12 V	1	110 W	300 W
DA-02	Disipador de calor	12 V	1	40 W	300 W
SDV	Válvula de solenoide	12 V	1	10 W	300 W

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	2.6



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Requerimiento de Servicios Auxiliares



CV-01	Válvula de control	12 V	1	20 W	300 W
-------	--------------------	------	---	------	-------

Servicio: Energía Eléctrica (5 V)

Punto de Inyección: Fuente de voltaje variable – Gabinete de PLC's (Arduino)

Suministro: Ininterrumpido

Clave	Equipo	Voltaje	Fases	Potencia requerida	Potencia instalada
ARD-Z	Arduino Zulu	5 V	1	2 W	300 W
ARD-Y	Arduino Yankee	5 V	1	2 W	300 W
ARD-X	Arduino Xray	5 V	1	2 W	300 W
ARD-W	Arduino Whiskey	5 V	1	2 W	300 W
ARD-V	Arduino Victor	5 V	1	2 W	300 W
ARD-U	Arduino Uniform	5 V	1	2 W	300 W
DIS-A	Display Alpha	5 V	1	2 W	300 W
DIS-B	Display Beta	5 V	1	2 W	300 W
DIS-G	Display Gama	5 V	1	2 W	300 W
DIS-D	Display Delta	5 V	1	2 W	300 W
DIS-L	Display Lamda	5 V	1	2 W	300 W

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	2.6



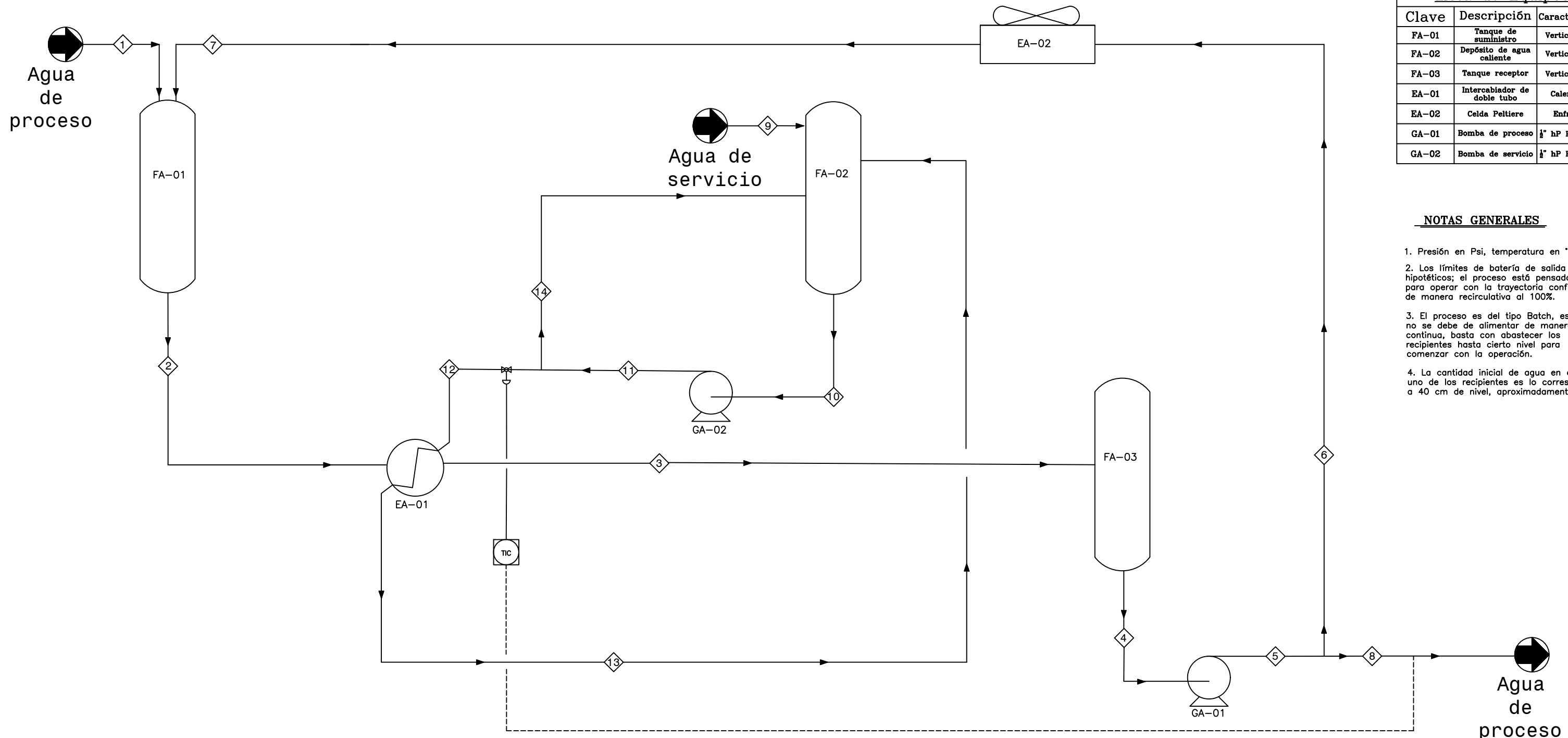
Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Diagrama de Flujo de Proceso



Diagrama de Flujo de Proceso

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Cuarta
V. Villar			# Documento	2.7



Lista de Equipos		
Clave	Descripción	Característica
FA-01	Tanque de suministro	Vertical 60 L
FA-02	Depósito de agua caliente	Vertical 60 L
FA-03	Tanque receptor	Vertical 60 L
EA-01	Intercambiador de doble tubo	Calentador
EA-02	Celda Peltiere	Enfriador
GA-01	Bomba de proceso	1/2" hP Periférica
GA-02	Bomba de servicio	1/2" hP Periférica

NOTAS GENERALES

1. Presión en Psi, temperatura en °C
2. Los límites de batería de salida son hipotéticos; el proceso está pensado para operar con la trayectoria configurada de manera recirculativa al 100%.
3. El proceso es del tipo Batch, es decir, no se debe de alimentar de manera continua, basta con abastecer los recipientes hasta cierto nivel para comenzar con la operación.
4. La cantidad inicial de agua en cada uno de los recipientes es lo correspondiente a 40 cm de nivel, aproximadamente 40 L

Balance de masa y energía														
Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Temperatura °C	25	25	30	30	30	30	25	30	25	80	80	80	75	80
Presión Psi / Psia	14.7psia	14.35	14.25	14.55	23.20	20.40	17.40	21.75	14.7psia	9.947	21.70	19.36	17.39	19.36
Flujo másico kg/min	Batch	10	10	10	10	10	10	---	Batch	21.3	21.3	10.2	10.2	11.7
Flujo volumétrico l/min	Batch	10	10	10	10	10	10	---	Batch	21.3	21.3	10.2	10.2	11.7
% Agua	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

CP	FECHA	REVISIONES				NUM	DIBUJOS DE REFERENCIA		DIB.	PROY.	REV.	COORD.	APROB.	ESC.	ACOT.	SIN	APROBADO POR		DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO EQUIPO MODULAR DE FLUJO DE FLUIDOS		PROYECTO No.:	No. PLANO:	REV.
		MCA					Plano de Notas Generales	A-2020-IQ-004.DWG	AVP	AVP	AVP	AVP	AGG	s/E							IQ-01	A-2020-IQ-001	8

Planta Piloto
Campus 2

Zaragoza
Ingenieria Química

DIBUJO ELABORADO EN: IZTAPALAPA, CDMX ABR-2020

A-2020-IQ-001.DWG FAC-IN-001



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Hojas de Datos de Equipo



Hojas de Datos de Equipo

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	10 Dicie 2020
D. Salazar			Versión	Tercera
V. Villar			# Documento	2.8



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Hojas de Datos de Equipo



Tanque de Suministro FA-01						
Cliente	<i>Fez Zaragoza</i>	Clave	<i>FA-01</i>	Fecha: <i>10/12/20</i>		
Lugar	<i>Planta Piloto</i>	Fabricó	<i>A. Velázquez</i>	Elaboró	<i>AVP</i>	
Servicio	<i>Almacenamiento</i>	Modelo	<i>01</i>	Revisó	<i>AGG</i>	
Unidad	<i>Campus II</i>	No. Requerido	<i>1</i>	Aprobó	<i>VVM</i>	
Datos de diseño				Dimensiones		
Servicio	<i>Almacenamiento</i>	Silletas	<i>No</i>	Longitud total	<i>60 cm</i>	
Tipo	<i>Vertical</i>	Patatas	<i>No</i>	Longitud faldón	<i>--</i>	
Presión de diseño	<i>Atmosférico</i>	Escaleras	<i>No</i>	Diámetro	<i>36 cm</i>	
Temperatura de diseño	<i>120°maximo</i>	Bisagras	<i>No</i>	Producto	<i>Agua</i>	
Presión de operación	<i>Atmosférico</i>	Pescantes	<i>--</i>	Densidad	<i>1 g/cm^3</i>	
Temperatura de operación	<i>25°C</i>	Anillo aislamiento	<i>Sí</i>	Volumen total	<i>0.62 m^3</i>	
Relevado de esfuerzos	<i>--</i>	Soportes para tubería	<i>Sí</i>	Espesor cuerpo	<i>5 mm</i>	
Radiografiado	<i>--</i>	Pintura	<i>No</i>	Espesor tapas	<i>5 mm</i>	
Eficiencia de juntas	<i>--</i>	Plataformas	<i>Sí</i>	Altura de empaque	<i>5 mm</i>	
Prueba hidrostática	<i>--</i>	Tipo de instalación	<i>Situ</i>	Nivel de operación	<i>40 cm</i>	
Corrosión permisible	<i>--</i>	Bajantes	<i>--</i>	Nivel mínimo	<i>10 cm</i>	
Carga por viento	<i>--</i>	Barras abrochadas	<i>--</i>	Pesos		
Coeficiente sísmico	<i>--</i>	Vertederos	<i>--</i>	Operación	<i>43.15 Kg</i>	
Proyección de boquillas	<i>--</i>	Eliminadores de arrastre	<i>No</i>	Vacío	<i>2.5 Kg</i>	
Construcción	<i>In Situ</i>	Anillo. Faldón, base	<i>No</i>	Lleno	<i>61 Kg</i>	
Materiales		Boquillas				Esquema
Cuerpo	<i>Polietileno</i>	Marca	Número	Diámetro	Servicio	<p>Tapa</p>
Tapas	<i>Polietileno</i>	<i>A</i>	<i>1</i>	<i>2.2 cm</i>	<i>Sensor de nivel</i>	
Placas	<i>--</i>	<i>B</i>	<i>2</i>	<i>3 cm</i>	<i>Termopozo</i>	
Perfiles	<i>--</i>	<i>C</i>	<i>3</i>	<i>3 cm</i>	<i>Alimentación</i>	
Tubería	<i>Polietileno</i>	<i>D</i>	<i>4</i>	<i>3 cm</i>	<i>Recirculación</i>	
Bridas	<i>--</i>	<i>E</i>	<i>5</i>	<i>3 cm</i>	<i>Jarro de agua</i>	
Base	<i>--</i>	<i>F</i>	<i>6</i>	<i>3 cm</i>	<i>Salida</i>	
Tornillos	<i>--</i>					
Tuercas	<i>--</i>					
Empaques	<i>Polietileno</i>					

Revisión	Autor		Fecha	10 Dicie 2020
A. Gómez	Velázquez Pedroza Ángel		Versión	Tercera
D. Salazar			# Documento	2.8
V. Villar				



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Hojas de Datos de Equipo



Tanque de Agua Caliente FA-02						
Cliente	<i>Fez Zaragoza</i>	Clave	<i>FA-02</i>	Fecha: <i>10/12/20</i>		
Lugar	<i>Planta Piloto</i>	Fabricó	<i>A. Velázquez</i>	Elaboró	<i>AVP</i>	
Servicio	<i>Calentamiento</i>	Modelo	<i>02</i>	Revisó	<i>AGG</i>	
Unidad	<i>Campus II</i>	No. Requerido	<i>1</i>	Aprobó	<i>VVM</i>	
Datos de diseño				Dimensiones		
Servicio	<i>Calentamiento</i>	Silletas	<i>No</i>	Longitud total	<i>60 cm</i>	
Tipo	<i>Vertical</i>	Patatas	<i>No</i>	Longitud faldón	<i>--</i>	
Presión de diseño	<i>Atmosférico</i>	Escaleras	<i>No</i>	Diámetro	<i>36 cm</i>	
Temperatura de diseño	<i>120°maximo</i>	Bisagras	<i>No</i>	Producto	<i>Agua</i>	
Presión de operación	<i>Atmosférico</i>	Pescantes	<i>--</i>	Densidad	<i>1 g/cm^3</i>	
Temperatura de operación	<i>80°C</i>	Anillo aislamiento	<i>Sí</i>	Volumen total	<i>0.62 m^3</i>	
Relevado de esfuerzos	<i>--</i>	Soportes para tubería	<i>Sí</i>	Espesor cuerpo	<i>5 mm</i>	
Radiografiado	<i>--</i>	Pintura	<i>No</i>	Espesor tapas	<i>5 mm</i>	
Eficiencia de juntas	<i>--</i>	Plataformas	<i>Sí</i>	Altura de empaque	<i>5 mm</i>	
Prueba hidrostática	<i>--</i>	Tipo de instalación	<i>Situ</i>	Nivel de operación	<i>40 cm</i>	
Corrosión permisible	<i>--</i>	Bajantes	<i>--</i>	Nivel mínimo	<i>10 cm</i>	
Carga por viento	<i>--</i>	Barras abrochadas	<i>--</i>	Pesos		
Coeficiente sísmico	<i>--</i>	Vertederos	<i>--</i>	Operación	<i>43.15 Kg</i>	
Proyección de boquillas	<i>--</i>	Eliminadores de arrastre	<i>No</i>	Vacío	<i>2.5 Kg</i>	
Construcción	<i>In Situ</i>	Anillo. Faldón, base	<i>No</i>	Lleno	<i>61 Kg</i>	
Materiales		Boquillas				Esquema
Cuerpo	<i>Polietileno</i>	Marca	Número	Diámetro	Servicio	<p>Tapa</p>
Tapas	<i>Polietileno</i>	<i>A</i>	<i>1</i>	<i>2.2 cm</i>	<i>Sensor de nivel</i>	
Placas	<i>--</i>	<i>B</i>	<i>2</i>	<i>3 cm</i>	<i>Termopozo</i>	
Perfiles	<i>--</i>	<i>C</i>	<i>3</i>	<i>3 cm</i>	<i>Resistencia Ele</i>	
Tubería	<i>Polietileno</i>	<i>D</i>	<i>4</i>	<i>3 cm</i>	<i>Alimentación</i>	
Bridas	<i>--</i>	<i>E</i>	<i>5</i>	<i>3 cm</i>	<i>Recirculación</i>	
Base	<i>--</i>	<i>F</i>	<i>6</i>	<i>3 cm</i>	<i>Retorno bomba</i>	
Tornillos	<i>--</i>	<i>G</i>	<i>7</i>	<i>3 cm</i>	<i>Jarro de agua</i>	
Tuercas	<i>--</i>	<i>H</i>	<i>8</i>	<i>3 cm</i>	<i>Salida</i>	
Empaques	<i>Polietileno</i>					

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	10 Dicie 2020
D. Salazar			Versión	Tercera
V. Villar			# Documento	2.8



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Hojas de Datos de Equipo



Tanque de Salida FA-03						
Cliente	<i>Fez Zaragoza</i>	Clave	<i>FA-03</i>	Fecha: <i>10/12/20</i>		
Lugar	<i>Planta Piloto</i>	Fabricó	<i>A. Velázquez</i>	Elaboró	<i>AVP</i>	
Servicio	<i>Almacenamiento</i>	Modelo	<i>03</i>	Revisó	<i>AGG</i>	
Unidad	<i>Campus II</i>	No. Requerido	<i>1</i>	Aprobó	<i>VVM</i>	
Datos de diseño				Dimensiones		
Servicio	<i>Almacenamiento</i>	Silletas	<i>No</i>	Longitud total	<i>60 cm</i>	
Tipo	<i>Vertical</i>	Patatas	<i>No</i>	Longitud faldón	<i>--</i>	
Presión de diseño	<i>Atmosférico</i>	Escaleras	<i>No</i>	Diámetro	<i>36 cm</i>	
Temperatura de diseño	<i>120°maximo</i>	Bisagras	<i>No</i>	Producto	<i>Agua</i>	
Presión de operación	<i>Atmosférico</i>	Pescantes	<i>--</i>	Densidad	<i>1 g/cm^3</i>	
Temperatura de operación	<i>80°C</i>	Anillo aislamiento	<i>Sí</i>	Volumen total	<i>0.62 m^3</i>	
Relevado de esfuerzos	<i>--</i>	Soportes para tubería	<i>Sí</i>	Espesor cuerpo	<i>5 mm</i>	
Radiografiado	<i>--</i>	Pintura	<i>No</i>	Espesor tapas	<i>5 mm</i>	
Eficiencia de juntas	<i>--</i>	Plataformas	<i>Sí</i>	Altura de empaque	<i>5 mm</i>	
Prueba hidrostática	<i>--</i>	Tipo de instalación	<i>Situ</i>	Nivel de operación	<i>40 cm</i>	
Corrosión permisible	<i>--</i>	Bajantes	<i>--</i>	Nivel mínimo	<i>10 cm</i>	
Carga por viento	<i>--</i>	Barras abrochadas	<i>--</i>	Pesos		
Coeficiente sísmico	<i>--</i>	Vertederos	<i>--</i>	Operación	<i>43.15 Kg</i>	
Proyección de boquillas	<i>--</i>	Eliminadores de arrastre	<i>No</i>	Vacío	<i>2.5 Kg</i>	
Construcción	<i>In Situ</i>	Anillo. Faldón, base	<i>No</i>	Lleno	<i>61 Kg</i>	
Materiales		Boquillas				Esquema
Cuerpo	<i>Polietileno</i>	Marca	Número	Diámetro	Servicio	<p>Tapa</p>
Tapas	<i>Polietileno</i>	<i>A</i>	<i>1</i>	<i>2.2 cm</i>	<i>Sensor de nivel</i>	
Placas	<i>--</i>	<i>B</i>	<i>2</i>	<i>3 cm</i>	<i>Termopozo</i>	
Perfiles	<i>--</i>	<i>C</i>	<i>3</i>	<i>3 cm</i>	<i>Alimentación</i>	
Tubería	<i>Polietileno</i>	<i>D</i>	<i>4</i>	<i>3 cm</i>	<i>Jarro de agua</i>	
Bridas	<i>--</i>	<i>E</i>	<i>5</i>	<i>3 cm</i>	<i>Salida</i>	
Base	<i>--</i>					
Tornillos	<i>--</i>					
Tuercas	<i>--</i>					
Empaques	<i>Polietileno</i>					

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	10 Dicie 2020
D. Salazar			Versión	Tercera
V. Villar			# Documento	2.8



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Hojas de Datos de Equipo



Intercambiador de Calor de Doble Tubo EA-01					
Cliente	<i>Fez Zaragoza</i>		Clave	<i>EA-01</i>	
Lugar	<i>Planta Piloto</i>		Fabricó	<i>A. Velázquez</i>	
Servicio	<i>Calentamiento</i>		Modelo	<i>01</i>	
Unidad	<i>Campus II</i>		No. Requerido	<i>1</i>	
Desempeño			Dimensiones		
	Lado Tubo		Lado Ánulo		Longitud total
Flujo total (Kg/min)	<i>10</i>		<i>9.6</i>		<i>120 cm</i>
Flujo líquido (Kg/min)	<i>10</i>		<i>9.6</i>		Longitud de tubo
Flujo vapor (Kg/min)	<i>0</i>		<i>0</i>		<i>120 cm</i>
Temperatura (°C)	<i>25°C a 30 °C</i>		<i>80°C a 75 °C</i>		Espeor de tubo
Presión (Psi)	<i>14.7</i>		<i>19.36</i>		<i>0.133 in</i>
Velocidad (m/s)	<i>0.3289</i>		<i>0.1461</i>		Longitud de ánulo
Caída de presión (Psi)	<i>0.010</i>		<i>0.0700</i>		<i>120</i>
					Espeor de ánulo
					<i>0.145 in</i>
					Boquillas de tubo
					<i>½"</i>
					Boquillas de ánulo
					<i>½"</i>
					Espeor aislante
					<i>25 mm</i>
Datos de diseño				Pesos	
Carga térmica (BTU/hr)	<i>11740.3</i>		Factor de incrustación	<i>0.00498</i>	
Superficie total (ft^2)	<i>1.37706</i>		Horquilla	<i>Recta</i>	
Coeficiente (BTU/hr ft^2 °F)	<i>94.5346</i>		Aislante	<i>Armaflex</i>	
Presión de diseño	<i>--</i>		Pintura	<i>No</i>	
Temperatura de diseño	<i>25-80 °C</i>		Soldadura	<i>60/40</i>	
				Tubo	<i>0.94 Kg</i>
				Anulo	<i>1.7 Kg</i>
				Operación	<i>3.5 Kg</i>
				Vacío	<i>3.14 Kg</i>
				Lleno	<i>3.5 Kg</i>
Materiales			Esquema		
Tubo	<i>Nacobre 1" tipo M</i>				
Ánulo	<i>Nacobre 1 ½" tipo M</i>				
Accesorios	<i>Nacobre tipo M</i>				
Boquillas					
Marca	Número	Tamaño	Servicio		
<i>A</i>	<i>1</i>	<i>½"</i>	<i>Alimentación</i>		
<i>B</i>	<i>2</i>	<i>½"</i>	<i>Salida</i>		
<i>C</i>	<i>3</i>	<i>½"</i>	<i>Service In</i>		
<i>D</i>	<i>4</i>	<i>½"</i>	<i>Service Out</i>		

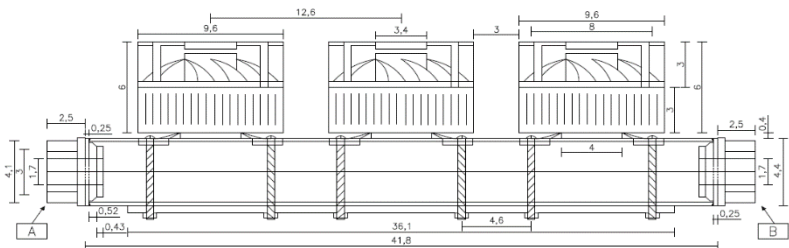
Revisión	Autor		Fecha	10 Dicie 2020
A. Gómez	Velázquez Pedroza Ángel		Versión	Tercera
D. Salazar			# Documento	2.8
V. Villar				



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Hojas de Datos de Equipo



Intercambiador de Calor de Efecto Peltier EA-02					
Cliente	Fez Zaragoza		Clave	EA-02	
Lugar	Planta Piloto		Fabricó	A. Velázquez	
Servicio	Enfriamiento		Modelo	01	
Unidad	Campus II		No. Requerido	1	
Fecha:			10/12/20		
Elaboró			AVP		
Revisó			AGG		
Aprobó			VVM		
Desempeño			Dimensiones		
PWM del disipador %	60		Altura	11.5 cm	
Flujo total (Kg/min)	10				
Flujo líquido (Kg/min)	10		Longitud	47 cm	
Flujo vapor (Kg/min)	0				
Temperatura (°C)	Entrada = 30, Salida = 25		Anchura	10 cm	
Presión (Psi)	Entrada = 20.4013, Salida = 17.4013				
Velocidad (m/s)	1.3156		Arista del conducto	4 cm	
Caída de presión (Psi)	3				
Datos de diseño			Pesos		
Carga térmica (BTU/hr)	10,896		Factor de incrustación	---	
Superficie total** (in^2)	7.44		Disipador	12 V	
Tipo	---		Aislante	No	
Presión de diseño	---		Pintura	Primer	
Temperatura de diseño	10 a 50°C		Soldadura	2.5 mm	
Conducto			1.5 Kg		
Disipador (3)			600 g		
Celda (3)			150 g		
Vació			2.25 Kg		
Lleno			3 Kg		
Materiales		Esquema			
Conducto	Zintro cuadrado Tc175				
Pasta	Grasa de silicón				
Celda	12706 12V 60W				
Boquillas					
Marca	Número	Tamaño	Servicio		
A	1	1/2"	Entrada		
B	2	1/2"	Salida		



**superficie de transferencia de calor

Revisión	Autor		Fecha	10 Dicie 2020
A. Gómez	Velázquez Pedroza Ángel		Versión	Tercera
D. Salazar			# Documento	2.8
V. Villar				



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Hojas de Datos de Equipo



Bomba de Servicio y Proceso GA-01/GA-02				
Cliente	<i>Fez Zaragoza</i>	Clave	<i>GA-01/GA-02</i>	Fecha: <i>10/12/20</i>
Lugar	<i>Planta Piloto</i>	Fabricó	<i>A. Velázquez</i>	Elaboró <i>AVP</i>
Servicio	<i>Distribución</i>	Modelo	<i>APm37 Periférica</i>	Revisó <i>AGG</i>
Unidad	<i>Campus II</i>	No. Requerido	<i>2</i>	Aprobó <i>VVM</i>
Características		Curva		
NPSHr @ 10 L/min	---			
Cuerpo	<i>Hierro anticorrosivo</i>			
Impulsor	<i>Acero inoxidable</i>			
Eje	<i>AISI 304</i>			
Temp max líquido	<i>+82°C</i>			
Embobinado	<i>Aluminio</i>			
Aislamiento	<i>Clase F</i>			
Protección	<i>IPx4</i>			
Temp max motor	<i>+40°C</i>			
Dimensiones				
Altura	<i>16 cm</i>			
Longitud	<i>26 cm</i>			
Anchura	<i>13.5 cm</i>			
Peso	<i>8 Kg</i>			

Revisión	Autor		Fecha	10 Dicie 2020
A. Gómez	Velázquez Pedroza Ángel		Versión	Tercera
D. Salazar			# Documento	2.8
V. Villar				

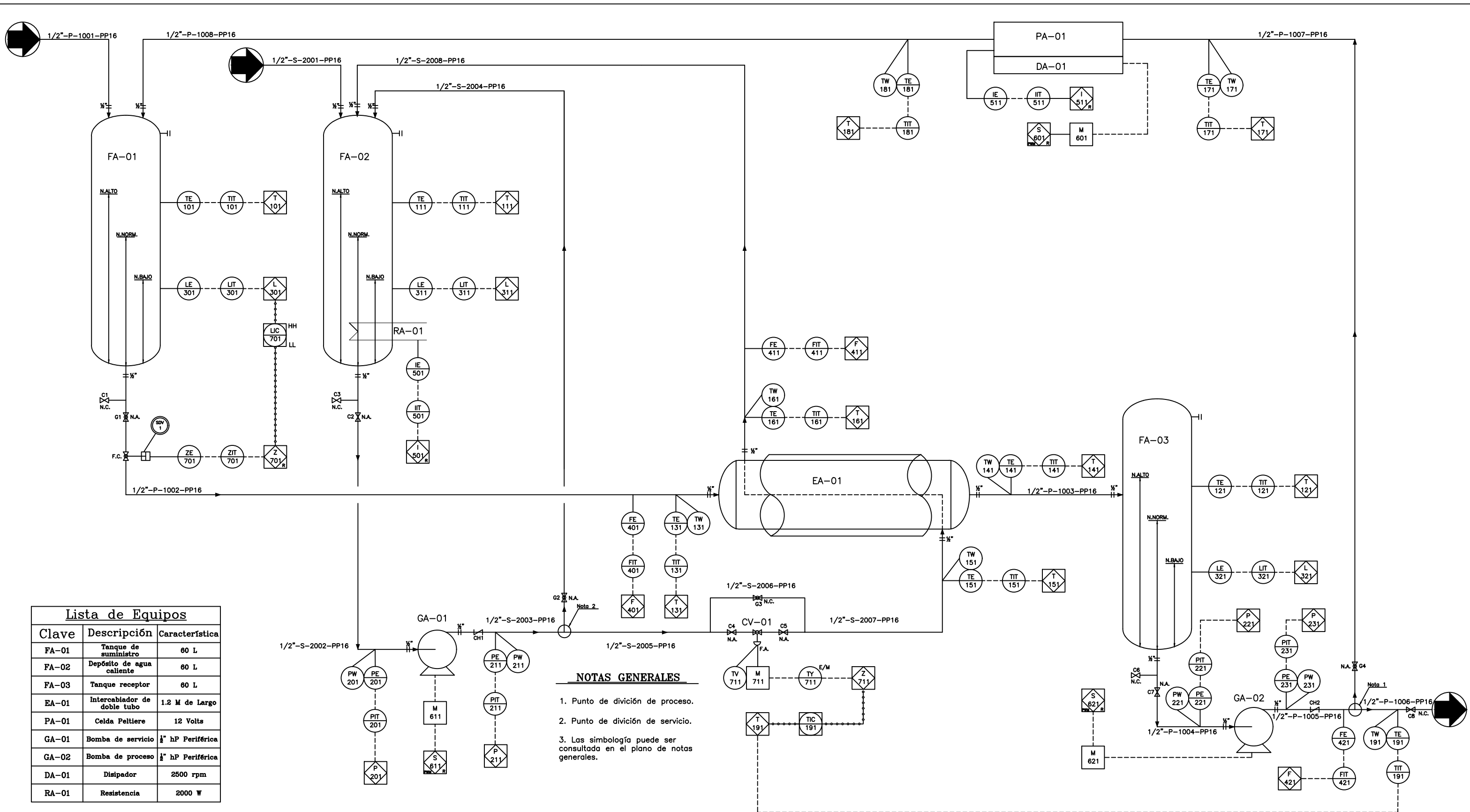


Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Diagrama de Tuberías e Instrumentación



Diagrama de Tuberías e Instrumentación

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Séptima
V. Villar			# Documento	2.9



Lista de Equipos		
Clave	Descripción	Característica
FA-01	Tanque de suministro	60 L
FA-02	Depósito de agua caliente	60 L
FA-03	Tanque receptor	60 L
EA-01	Intercambiador de doble tubo	1.2 M de Largo
PA-01	Celda Peltiere	12 Volts
GA-01	Bomba de servicio	1/2" hP Periférica
GA-02	Bomba de proceso	1/2" hP Periférica
DA-01	Disipador	2500 rpm
RA-01	Resistencia	2000 W

NOTAS GENERALES

1. Punto de división de proceso.
2. Punto de división de servicio.
3. Las simbología puede ser consultada en el plano de notas generales.

REVISIONES						DIBUJOS DE REFERENCIA				DIB.		APROBADO POR		DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN EQUIPO MODULAR DE FLUJO DE FLUIDOS			
C.P.	FECHA	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR	Vo.Bo.	NUM.	TÍTULO	PROY.	REV.	COORD.	APROB.	ESC.	ACOT.	SIN	PROYECTO No.:	No. PLANO:	REV.
							Diagrama de Flujo de Proceso	AVP							IQ-01	A-2020-IQ-002	8
							Plano de Notas Generales	AVP									
								AGG									



Zaragoza
Ingeniería Química

DIBUJO ELABORADO EN: IZTAPALAPA, CDMX ABR-2020



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Índice de Líneas



Índice de Líneas

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	12 Dicie 2020
D. Salazar			Versión	Cuarta
V. Villar			# Documento	2.10



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.



Índice de Líneas

En el presente documento se enumeran las diferentes líneas hidráulicas que conforman el equipo modular, están divididas atendiendo a su función, ya sea con fines de proceso o de servicio. Este documento debe ser consultado simultáneamente con el diagrama de tuberías e instrumentación.

La nomenclatura está disponible en el plano de notas generales.

Proceso

Clave***	Enlace	Instrumentos	Válvulas
1/2"-P-1001-PP16	De Límites de batería de entrada a tanque de suministro (FA-01)	--	--
1/2"-P-1002-PP16	Del tanque de suministro (FA-01) al intercambiador de calor (EA-01)	-(FE401) -(TE131)	-C1 -G1 -SDV01
1/2"-P-1003-PP16	Del intercambiador de calor (EA-01) al tanque de salida (FA-03)	-(TE141)	--
1/2"-P-1004-PP16	Del tanque de salida (FA-03) a la succión de la bomba (GA-02)	-(PE221)	-C6 -C7
1/2"-P-1005-PP16	De la descarga de la bomba (GA-02) al punto de división de proceso*	-(PE231) -(FE421) -(TE191)	-CH2
1/2"-P-1006-PP16	Del punto de división de proceso a límites de batería de salida	--	-C8
1/2"-P-1007-PP16	Del punto de división de proceso a la celda Peltier (PA-01)	-(TE171)	-G4
1/2"-P-1008-PP16	De la celda Peltier al tanque de suministro (FA-01)	-(TE181)	--

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	12 Dicie 2020
D. Salazar			Versión	Cuarta
V. Villar			# Documento	2.10



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Índice de Líneas



Servicio

Clave	Enlace	Instrumentos	Válvulas
1/2"-S-1001-PP16	De Límites de batería de servicio a tanque de agua caliente (FA-02)	--	--
1/2"-S-1002-PP16	Del tanque de agua caliente (FA-02) a la succión de la bomba de servicio (GA-01)	-(PE201)	-C2 -C3
1/2"-S-1003-PP16	De la descarga de la bomba de servicio (GA-01) al punto de división de servicio**	-(PE211)	-CH1
1/2"-S-1004-PP16	Del punto de división de servicio** al tanque de agua caliente (FA-02)	--	-G2
1/2"-S-1005-PP16	Del punto de división de servicio** a la válvula de control (CV-01)	--	-C4
1/2"-S-1006-PP16	By-Pass de la válvula de control	--	-G3
1/2"-S-1007-PP16	De la válvula de control (CV-01) al intercambiador de calor (EA-01)	-(TE151)	-C5
1/2"-S-1008-PP16	Del intercambiador de calor (EA-01) al tanque de agua caliente (FA-02)	-(TE161) -(FE411)	--

Notas

1. *, ** los puntos de división se proceso y de servicio están representados en el plano de tuberías e instrumentación y están acompañados de su respectiva nota.
2. *** PP16 = Polipropileno clase 16 CNCP (Centro de Normalización y Certificación de productos)

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	12 Dicie 2020
D. Salazar			Versión	Cuarta
V. Villar			# Documento	2.10



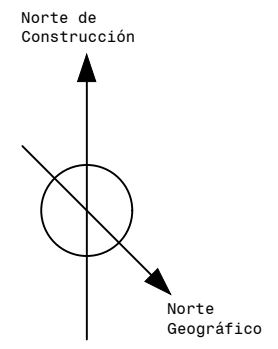
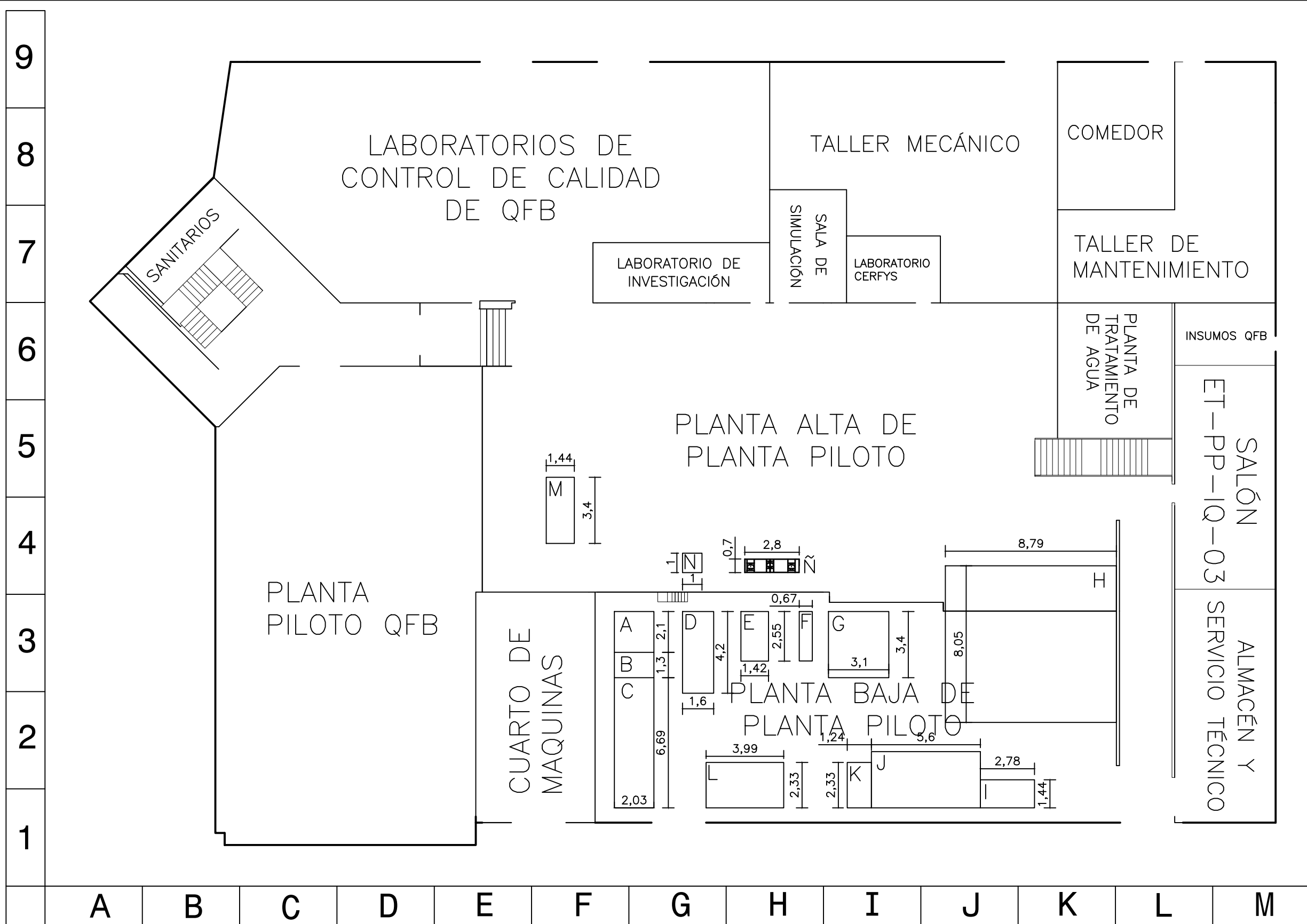
Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Plano de Localización General



Plano de Localización General

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	2.11



Lista de Equipos		
Clave	Descripción	Área
A	Sistema de bombeo	2.0 x 2.1 m
B	Intercambiadores de calor	1.3 x 2.1 m
C	Equipo de flujo de fluidos metálico	6.7 x 2.1 m
D	Equipo de flujo de fluidos de vidrio	4.2 x 1.6 m
E	Extracción líquido líquido y destilación	2.5 x 1.4 m
F	Torre de burbujeo	2.5 x 0.7 m
G	Torre de destilación de vidrio	3.4 x 3.1 m
H	Torre de destilación de metal	8.0 x 8.8 m
I	Secador de lecho fluidizado	1.4 x 2.8 m
K	Reactor de vidrio	2.3 x 3.9 m
L	Intercambiador de calor de vidrio	2.3 x 4.0 m
M	Filtro prensa	3.4 x 1.4 m
N	Torre de burbujeo	1.0 x 1.0 m
N	Equipo modular de flujo de fluidos con intercambio de calor	0.7 x 2.8 m

NOTAS GENERALES

- Dimensiones en m.
- La disposición del equipo modular dentro de las instalaciones de la planta piloto, fue determinada a disponibilidad espacial, y no como resultado de una conveniente cercanía a tomas de agua y drenaje.
- El equipo modular puede ser rehubicado sin mayor complicación en caso de ser necesario.

CP	FECHA	REVISIONES				NUM	DIBUJOS DE REFERENCIA		DIB.	HI	 Planta Piloto Campus 2	 Zaragoza Ingeniería Química	APROBADO POR		PLANO DE LOCALIZACIÓN GENERAL EQUIPO MODULAR DE FLUJO DE FLUIDOS		
		DESCRIPCIÓN	FECHA	POR	Vo.Bo.			PROY.	AVP								
								REV.	AVP								
								COORD.	AVP								
								APROB.	AGG								
								ESC.	S/E	ACOT.	SIN	PROYECTO No.:	No. PLANO:	REV.			
													IQ-01	A-2020-IQ-003	5		
												DIBUJO ELABORADO EN: IZTAPALAPA, CDMX		ABR-2020	A-2020-IQ-003.DWG		FAC-IN-001



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Índice de Instrumentos



Índice de Instrumentos

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Segunda
V. Villar			# Documento	2.12



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Índice de Instrumentos



Instrumento	Rango de Operación	Comunicación	Características
Sensor de Temperatura Digital DS18B20 	De -55°C hasta 125°C	Digital	-Acero inoxidable -Sumergible
	Voltaje		
	3 a 5.5 Volts		
Transductor de Presión G1/4 	Hasta 1.2 MPa (11 atm)	Análogo por caída de tensión de 0.5 a 4.5 Volts	-Opera en el intervalo de 0°C hasta 85°C - Aleación de acero al carbón
	Voltaje		
	5 Volts		
Sensor de Nivel Ultrasonico JSN-SR04T 	De 25 a 450 cm	Análogo	-20 cm de margen de espaciamiento. -Ángulo de 50° -Opera de -10°C a 70°C -Corriente 30 mA - Frecuencia acústica 40 KHz -Tiempo de respuesta 20 ms
	Voltaje		
	5 Volts		

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Segunda
V. Villar			# Documento	2.12



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Índice de Instrumentos



Sensor de Flujo Yf-s201 	De 1 a 30 L/min	Análogo por caída de tensión de 0 a 5 Volts	-Corriente 15 mA -Opera de -25°C a 80°C -Efecto Hall -Humedad de trabajo 35% a 80% de humedad relativa
	Voltaje		
	5 Volts		
Sensor de Corriente ACS712 30A 	Hasta 30 A	Análogo por caída de tensión de 0 a 5 Volts	-Resistencia interna 1.2 mOhm -Sensibilidad 66 mV/A -Salida análoga de 100mV/A -Aislamiento entre pines 2.1 kVVRM
	Voltaje		
	5 Volts		
Módulo Relé KY-019 	No aplica	Digital	-Máxima AC 10A 250VAC -Máxima DC 10A 30VDC -Opera < 2000 Watts
	Voltaje		
	5 Volts		




Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Segunda
V. Villar			# Documento	2.12



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Índice de Instrumentos



Driver A4988 para motor de Pasos NEMA 17 	200 pasos de 1.8°	Digital / Simulink	-Voltaje de funcionamiento 8 a 35 Volts -Voltaje lógico 3 a 5 Volts -Corriente continua por fase 1:A2 -Corriente máxima por fase 2:A3
	Voltaje		
	5 Volts		
Variador de velocidad 12-40V 10A Motor DC PWM 	PWM de 10% a 100%	Manual	-Voltaje 12 a 40 Volts DC -Potencia de control 0.01 a 400 Watts - Corriente estática 0.02A -Frecuencia PWM 13 KHz -Sobrecarga a cortocircuito 10 A -Alta eficiencia, alto torque, baja generación de calor
	Voltaje		
	12 Volts		
Celda Peltier TEC1-12706 	Diferencia máxima de temperatura de 67°C	Análogo por caída de tensión de 3 a 16 V	-Resistencia 1.7 Ohm -Máxima temperatura caliente 180°C -Máxima temperatura fría -50°C -Potencia eléctrica máxima 107.8 Watts -Termopares 127
	Voltaje		
	12 Volts		




Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Segunda
V. Villar			# Documento	2.12



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.



Índice de Instrumentos

Disipador de calor D60188-OC1 	No aplica	Análogo PWM	-Revoluciones: 1200 a 2500 RPM -Ruido: 22 dBA -Peso: 210 g -Conexión: 4 Pin
	Voltaje		
	12 Volts		
Válvula solenoide 12V ½” 	On/Off	Digital	-Potencia 8 Watts -Corriente 0.6 A -De 0.02 a .8 MPa -Operación máxima a 100°C -Normalmente cerrado -Diafragma -Operada por servo
	Voltaje		
	12 Volts		
Motor de pasos NEMA 17 	Ángulo de paso de 1.8° (200 pasos)	Digital	-Actuador lineal de posición -Par 3.7 kg/cm -Corriente 1.68 A por bobina -Inductancia 3.2 mH por bobina
	Voltaje		
	12 Volts		




Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Segunda
V. Villar			# Documento	2.12



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.



Índice de Instrumentos

Fuente conmutada de voltaje variable 	Salida de 5 y 12 Volts	No aplica	-Carga nominal 300 Watts -Corriente de salida 20 A -Rango ajustable +- 3% -Opera entre -30 y 50°C -Ventilador ruidoso -Protección a corto circuito y sobrecarga
	Voltaje		
	120 Volts		
Resistencia eléctrica WL-1310 	Calienta 10 L de agua hasta 85°C en 30 min	No aplica	-Acero niquelado de alta resistencia -Potencia 2000W -Longitud 22 cm -Consumo 300W/10min
	Voltaje		
	120 Volts		
Variador de velocidad Dimmer PWM 40A 	PWM de 10% a 100%	Manual	-Temperatura entre -20 y 100 °C -Hasta 220 V AC -Corriente de entrada 40A -Corriente nominal 30A -Potencia máxima 4400W -Frecuencia 50/60 Hz -Detección cruce por cero -Corriente pico 40A
	Voltaje		
	Potencia 120 V Digital 5 V		

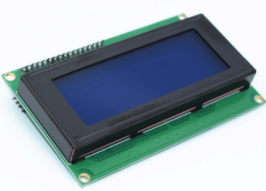

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Segunda
V. Villar			# Documento	2.12



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.



Índice de Instrumentos

<p>Display LCD2004</p> 	<p>No aplica</p> <hr/> <p>Voltaje</p> <hr/> <p>5 Volts</p>	<p>I2C</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Corriente de entrada 125mA -Potencia 625 mW -Módulo I2C PCF8574 -LCD HD44780 -Dimensiones 9.8x6 cm
<p>Arduino UNO</p> 	<p>14 Digitales 6 Análogas</p> <hr/> <p>Voltaje</p> <hr/> <p>5 Volts</p>	<p>Serial COM</p>	<ul style="list-style-type: none"> -6 canales PWM -Corriente por pin 40mA -Memoria Flash 32 KB -Bootloader 0.5 KB -SRAM 2 KB -EEPROM 1 KB -Frecuencia 16 MHz

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Segunda
V. Villar			# Documento	2.12



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Índice de Control y Monitoreo



Índice de Control y Monitoreo

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	2 Octub 2020
D. Salazar			Versión	Quinta
V. Villar			# Documento	2.13



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Índice de Control y Monitoreo



Temperatura (10)

Clave General	Clave Completa	Ubicación	Sensores	Display Local
1-0-1	101 Elemento Primario 102 Transmisor 103 Registro	Tanque de Suministro	Sensor de temperatura digital DS18B20	Alpha
				Protocolo
				Digital
1-1-1	111 Elemento Primario 112 Transmisor 113 Registro	Tanque de Agua Caliente	Sensor de temperatura digital DS18B20	Gamma
				Protocolo
				Digital
1-2-1	121 Elemento Primario 122 Transmisor 123 Registro	Tanque de Salida	Sensor de temperatura digital DS18B20	Delta
				Protocolo
				Digital
1-3-1	131 Elemento Primario/termopozo 132 Transmisor 133 Registro	Entrada de proceso del intercambiador de calor	Sensor de temperatura digital DS18B20	Beta
				Protocolo
				Digital
1-4-1	141 Elemento Primario/termopozo 142 Transmisor 143 Registro	Salida de proceso del intercambiador de calor	Sensor de temperatura digital DS18B20	Beta
				Protocolo
				Digital
1-5-1	151 Elemento Primario/termopozo 152 Transmisor 153 Registro	Entrada de servicio del intercambiador de calor	Sensor de temperatura digital DS18B20	Beta
				Protocolo
				Digital

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	2 Octub 2020
D. Salazar			Versión	Quinta
V. Villar			# Documento	2.13



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.



Índice de Control y Monitoreo

1-6-1	161 Elemento Primario/termopozo 162 Transmisor 163 Registro	Salida de servicio del intercambiador de calor	Sensor de temperatura digital DS18B20	Beta
				Protocolo
				Digital
1-7-1	171 Elemento Primario/termopozo 172 Transmisor 173 Registro	Antes de la celda Peltier	Sensor de temperatura digital DS18B20	Gamma
				Protocolo
				Digital
1-8-1	181 Elemento Primario/termopozo 182 Transmisor 183 Registro	Después de la celda Peltier	Sensor de temperatura digital DS18B20	Gamma
				Protocolo
				Digital
1-9-1	191 Elemento Primario/termopozo 192 Transmisor 193 Controlador 194 Transductor 195 Válvula de Control 196 Registro	Límites de batería – Válvula de control	Sensor de temperatura digital DS18B20	Delta
				Protocolo
				Digital

Presión (4)

Clave General	Clave Completa	Ubicación	Sensores	Display Local
2-0-1	201 Elemento Primario 202 Transmisor 203 Registro	Succión de la bomba de servicio	Transductor de Presión G1/4	Beta
				Protocolo
				Análogo

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	2 Octub 2020
D. Salazar			Versión	Quinta
V. Villar			# Documento	2.13



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.



Índice de Control y Monitoreo

2-1-1	211 Elemento Primario	Descarga de la bomba de servicio	Transductor de Presión G1/4	Beta
	212 Transmisor			Protocolo
	213 Registro			Análogo
2-2-1	221 Elemento Primario	Succión de la bomba de proceso	Transductor de Presión G1/4	Delta
	222 Transmisor			Protocolo
	223 Registro			Análogo
2-3-1	231 Elemento Primario	Descarga de la bomba del proceso	Transductor de Presión G1/4	Delta
	232 Transmisor			Protocolo
	233 Registro			Análogo

Nivel (3)

Clave General	Clave Completa	Ubicación	Sensores	Display Local
3-0-1	301 Elemento Primario	Tanque de Suministro	Sensor Ultrasónico JSN-SR04T	Alpha
	302 Transmisor			Protocolo
	303 Registro			Digital
3-1-1	311 Elemento Primario	Tanque de agua caliente	Sensor Ultrasónico JSN-SR04T	Gamma
	312 Transmisor			Protocolo
	313 Registro			Digital
3-2-1	321 Elemento Primario	Tanque de salida	Sensor Ultrasónico JSN-SR04T	Delta
	322 Transmisor			Protocolo
	323 Registro			Digital

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	2 Octub 2020
D. Salazar			Versión	Quinta
V. Villar			# Documento	2.13



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Índice de Control y Monitoreo



Flujo (3)

Clave General	Clave Completa	Ubicación	Sensores	Display Local
4-0-1	401 Elemento Primario 402 Transmisor 403 Registro	Entrada de proceso del intercambiador de calor	Sensor de flujo de agua Yf-s201	Alpha
				Protocolo
				Análogo
4-1-1	411 Elemento Primario 412 Transmisor 413 Registro	Entrada de servicio del intercambiador de calor	Sensor de flujo de agua Yf-s201	Beta
				Protocolo
				Análogo
4-2-1	421 Elemento Primario 422 Transmisor 423 Controlador 424 Registro	Límite de batería	Sensor de flujo de agua Yf-s201	Delta
				Protocolo
				Análogo

Corriente (2)

Clave General	Clave Completa	Ubicación	Sensores	Display Local
5-0-1	501 Elemento Primario 502 Transmisor 503 Registro	Resistencia del tanque de agua caliente	Sensor de Corriente ACS712 30A	Gamma
				Protocolo
				Análogo
5-1-1	511 Elemento Primario 512 Transmisor 513 Registro	Celda Peltier	Sensor de Corriente ACS712 30A	Gamma
				Protocolo
				Análogo

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	2 Octub 2020
D. Salazar			Versión	Quinta
V. Villar			# Documento	2.13



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Índice de Control y Monitoreo



Velocidad (3)

Clave General	Clave Completa	Ubicación	Sensores	Display Local
6-0-1	601 Elemento Primario 602 Motor 603 Potenciómetro	Disipador de la celda Peltier	Control de velocidad PWM 12 V-40 V10A	---
				Protocolo
				Análogo
6-1-1	611 Elemento Primario 612 Motor 613 Potenciómetro	Motor de la bomba de servicio GA-01	Control de velocidad PWM 120 V-40 V 40A	---
				Protocolo
				Análogo
6-2-1	621 Elemento Primario 622 Motor 623 Potenciómetro	Motor de la bomba de proceso GA-02	Control de velocidad PWM 120 V-40 V 40A	---
				Protocolo
				Análogo

Posición (2)

Clave General	Clave Completa	Ubicación	Sensores	Display Local
7-0-1	701 Elemento Primario 702 Transmisor 703 Relé 704 Registro	Válvula de Solenoide	Electro válvula ½ pulg	Lamda
				Protocolo
				On/off
7-1-1	711 Elemento Primario 712 Transmisor 713 Registro	Motor de pasos de la válvula de control	Motor de Pasos NEMA 17 Driver A4988	---
				Protocolo
				Digital

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	2 Octub 2020
D. Salazar			Versión	Quinta
V. Villar			# Documento	2.13



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Hojas de Datos de Válvulas de Control



Hojas de Datos de Válvulas de Control

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	8 Abril 2021
D. Salazar			Versión	Segunda
V. Villar			# Documento	2.14



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Hojas de Datos de Válvulas de Control



Válvula de Control CV-01																												
Cliente	<i>Fez Zaragoza</i>	Clave	<i>CV-01</i>	Fecha: <i>18/12/20</i>																								
Lugar	<i>Planta Piloto</i>	Fabricó	<i>A. Velázquez</i>	Elaboró <i>AVP</i>																								
Servicio	<i>Control feedback</i>	Modelo	<i>01</i>	Revisó <i>AGG</i>																								
Unidad	<i>Campus II</i>	No. Requerido	<i>1</i>	Aprobó <i>VVM</i>																								
Características		Curva																										
Cv	<i>0.25 gpm @ 1 Psi</i>	<p style="text-align: center;">Caudal Vs Apertura</p> <table border="1"> <caption>Data points for Caudal Vs Apertura</caption> <thead> <tr> <th>Porcentaje de Apertura</th> <th>Caudal L/min</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>10</td><td>2.15</td></tr> <tr><td>20</td><td>4.3</td></tr> <tr><td>30</td><td>6.45</td></tr> <tr><td>40</td><td>8.6</td></tr> <tr><td>50</td><td>10.75</td></tr> <tr><td>60</td><td>12.9</td></tr> <tr><td>70</td><td>15.05</td></tr> <tr><td>80</td><td>17.2</td></tr> <tr><td>90</td><td>19.35</td></tr> <tr><td>100</td><td>21.5</td></tr> </tbody> </table>			Porcentaje de Apertura	Caudal L/min	0	0	10	2.15	20	4.3	30	6.45	40	8.6	50	10.75	60	12.9	70	15.05	80	17.2	90	19.35	100	21.5
Porcentaje de Apertura	Caudal L/min																											
0	0																											
10	2.15																											
20	4.3																											
30	6.45																											
40	8.6																											
50	10.75																											
60	12.9																											
70	15.05																											
80	17.2																											
90	19.35																											
100	21.5																											
Material	<i>Tuboplus</i>																											
Actuador	<i>Motor NEMA 17</i>																											
Caída de presión	<i>---</i>																											
Obturador	<i>Redondo</i>																											
Apertura	<i>Isoporcentual</i>																											
Respuesta	<i>500 ms</i>																											
By-pass	<i>Sí</i>																											
Temp max fluido	<i>120 °C</i>																											
Dimensiones		Esquema																										
Altura	<i>16 cm</i>																											
Longitud	<i>7 cm</i>																											
Anchura	<i>5 cm</i>																											
Peso	<i>800 g</i>																											

Revisión	Autor	Fecha	8 Abril 2021
A. Gómez	Velázquez Pedroza Ángel	Versión	Segunda
D. Salazar		# Documento	2.14
V. Villar			



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Sumario de Alarmas, Paros y Arranques



Sumario de Alarmas, Paros y Arranques

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	2.15



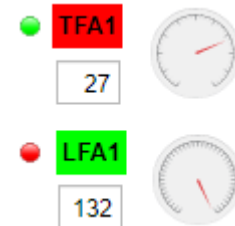
Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Sumario de Alarmas, Paros y Arranques



a) Alarmas

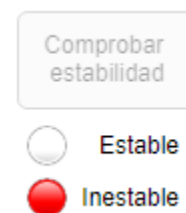
1. Alarma por operación fuera de especificación (AL1)

Cada medición de cada uno de los sensores de la interfaz gráfica de usuario está acompañada de un led y una aguja indicadora; dichos componentes tienen la función de brindar información sobre el estado operativo de las variables. Las agujas indicadoras están configuradas para mostrar límites máximos y mínimos para cada sensor, haciendo una analogía con un reloj analógico, su estado óptimo se encuentra en el intervalo cercano al número 12 (a excepción del porcentaje de apertura de la válvula de control). El led cambia de color dependiendo del valor de la variable medida, siendo color verde para “condición operativa deseable” y color rojo para “fuera de especificaciones”. Excepcionalmente el led será de color blanco si el sensor ha dejado de funcionar. El color de la etiqueta indica el tipo de variable (rojo para temperatura, verde para nivel).



2. Alarma indicadora de estabilidad (AL2)

La interfaz gráfica de usuario notificará al operador a través de indicadores led (verde para estabilidad y rojo para inestabilidad) sobre el momento en que se haya alcanzado el emparejamiento de las condiciones de operación del equipo modular con las definidas para el Setpoint.



Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	2.15



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Sumario de Alarmas, Paros y Arranques



b) Paros y Arranques

El equipo modular de flujo de fluidos cuenta con un algoritmo asistido de arranque y paro de operaciones, es decir, la computadora a través de la interfaz gráfica de usuario emitirá instrucciones sobre acciones manuales para los operadores, mientras que en segundo plano la computadora realizará acciones digitales por su propia cuenta. Operativamente el proceso está dividido en 5 etapas: *Stand By*, Etapa 1, Etapa 2, Operación normal y Paro.

En la etapa *Stand By* o modo de espera la computadora emitirá las primeras instrucciones para los operadores, que, de ser cumplidas, deberán desbloquear la siguiente secuencia de acciones. De manera automática se pondrán a disposición las mediciones obtenidas por los sensores (que en esta etapa es normal que se encuentren en el estado “fuera de especificación”).

En la Etapa 1 el objetivo es configurar el circuito de proceso para alcanzar una condición de recirculación permanente.

En la Etapa 2 el objetivo es caracterizar el circuito de servicio como recirculación permanente a determinada temperatura.

Durante la operación normal ya se ha alcanzado régimen permanente de flujo en la trayectoria de proceso y de servicio. A partir de aquí la computadora buscará llegar por sí sola a la condición fijada por el Setpoint.

Finalmente, al activar la secuencia de Paro la computadora por sí misma restablecerá cuidadosamente las condiciones de operación a las de la etapa *Stand By* para poder comenzar de nuevo.

Estado actual del sistema

Stand By

Etapa1

Etapa 2

Operación normal

Paro

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	2.15



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Circuitos Lógicos de Control



Circuitos Lógicos de Control

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	30 Julio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	2.16



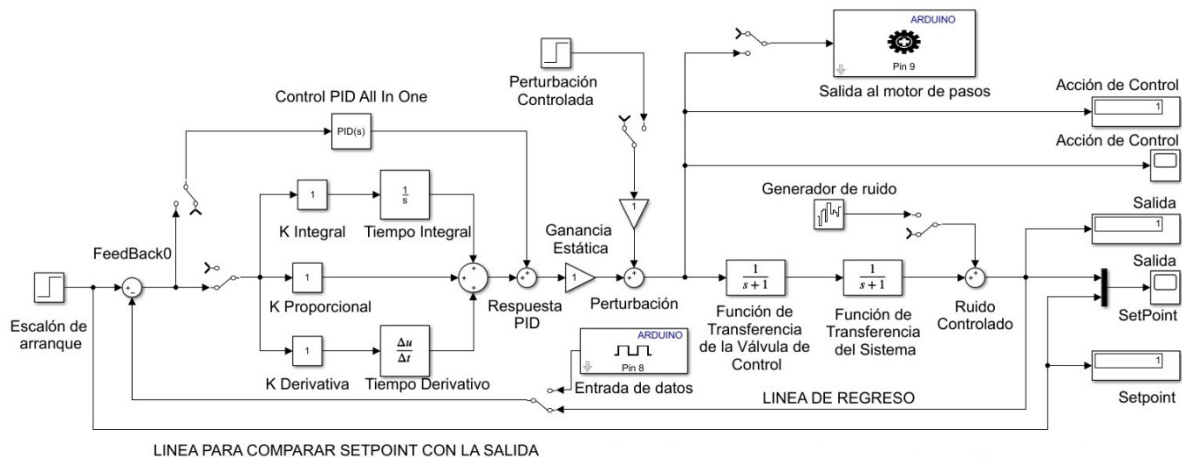
Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Circuitos Lógicos de Control



Lazo de control *Feedback* para controlar la temperatura del fluido de proceso en función del caudal del fluido de servicio.

El proceso cuenta con un único lazo de control, tiene la finalidad de controlar la modulación de una válvula de control mecánica en función del “Setpoint” de temperatura de uno de los sensores. Es un lazo de control cerrado del tipo Feedback con respuesta PID sintonizada con PID Tunner de Matlab. La función de transferencia fue determinada utilizando la herramienta “System Identification” del software Matlab™.

El modelo que se presenta a continuación fue diseñado en la extensión Simulink™ de Matlab™, posteriormente fue compilado y descargado en la memoria EEPROM del PLC utilizado (Arduino). Algunas de las funciones que aparecen en el esquema fueron únicamente usadas para fines de simulación, las cuales pueden y deben deshabilitarse para funcionar con entrada de datos. A continuación se describe de manera general su funcionamiento.



Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	30 Julio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	2.16



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Circuitos Lógicos de Control



1. Conociendo el rango operacional del sensor de temperatura atendiendo a su desempeño en el proceso después de etapas experimentales, se fija un escalón de arranque con determinado porcentaje operacional para fijar el Setpoint.
2. A continuación viene un punto de suma que representa la condición de lazo de control cerrado Feedback, el cual compara el Setpoint con la medición del sensor de temperatura en términos de porcentajes.
3. Posteriormente el sistema busca estabilizarse minimizando la diferencia entre el Setpoint y la medición del sensor, esto se logra con la respuesta del controlador, el cual para este caso es del tipo PID (en el esquema se muestran 2 alternativas, Simulink™ cuenta con bloques que permiten integración de respuestas proporcionales, integrales y derivativas en un solo bloque, pero para fines ilustrativos se muestran también de forma desglosada), la sintonización de las “K’s” fueron obtenidas con PID Tuner de Matlab para sistemas de segundo orden oscilatorios.
4. Después, se incluye una ganancia estática para atenuar el error en estado estacionario.
5. Con fines únicamente de simulación, se incluyó un generador de perturbaciones para analizar el comportamiento del sistema en caso de sobre impulsos.
- 6.a Con fines operacionales, siguiendo la trayectoria vertical, la respuesta del controlador es enviada como acción de control a la válvula operada por el motor de pasos. En el esquema se incluye un visualizador gráfico que fue utilizado durante la experimentación para apreciar si existían oscilaciones abruptas de la apertura y cierre de la válvula de control.
- 6.b Con fines de simulación, siguiendo la trayectoria horizontal, la respuesta del controlador es evaluada por la función de transferencia de la válvula de control y por la función de transferencia del sistema. Dichas funciones de transferencia fueron obtenidas de manera semianálítica utilizando datos del balance de materia y energía procesados con la herramienta “System Identificación” de Matlab™.

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	30 Julio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	2.16



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Circuitos Lógicos de Control



7. Con fines únicamente de simulación, se incluyó un generador de ruido para analizar el comportamiento del sistema en caso de perturbaciones armónicas en la obtención de datos del sensor, típicamente ocasionadas por equipos aledaños con embobinados (bombas, fuentes de voltaje, etc.).

8. Con fines de simulación, la respuesta del controlador después de ser evaluada por las funciones de transferencia se retroalimenta y se compara de nuevo con el Setpoint para comenzar el ciclo nuevamente. En el esquema se incluye un visualizador gráfico que fue utilizado durante la experimentación para apreciar y comparar el Setpoint con la respuesta del controlador, con la finalidad de obtener valores de sobre impulso, tiempo de establecimiento, etc.

Nota. La “Línea de Regreso” sólo es hipotética durante la operación del equipo modular, porque en la vida real no se retroalimentan ni sobrescriben datos al sensor, el sensor recaba datos del mundo real, y esos datos varían dependiendo de la acción de control, es decir, la retroalimentación al sensor sólo es para fines de simulación donde no hay entrada de datos en tiempo real, de esa manera el software tendrá la medición anterior para poder seguir computando.

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	30 Julio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	2.16



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Tablero Principal de Control



Tablero Principal de Control

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	2.17

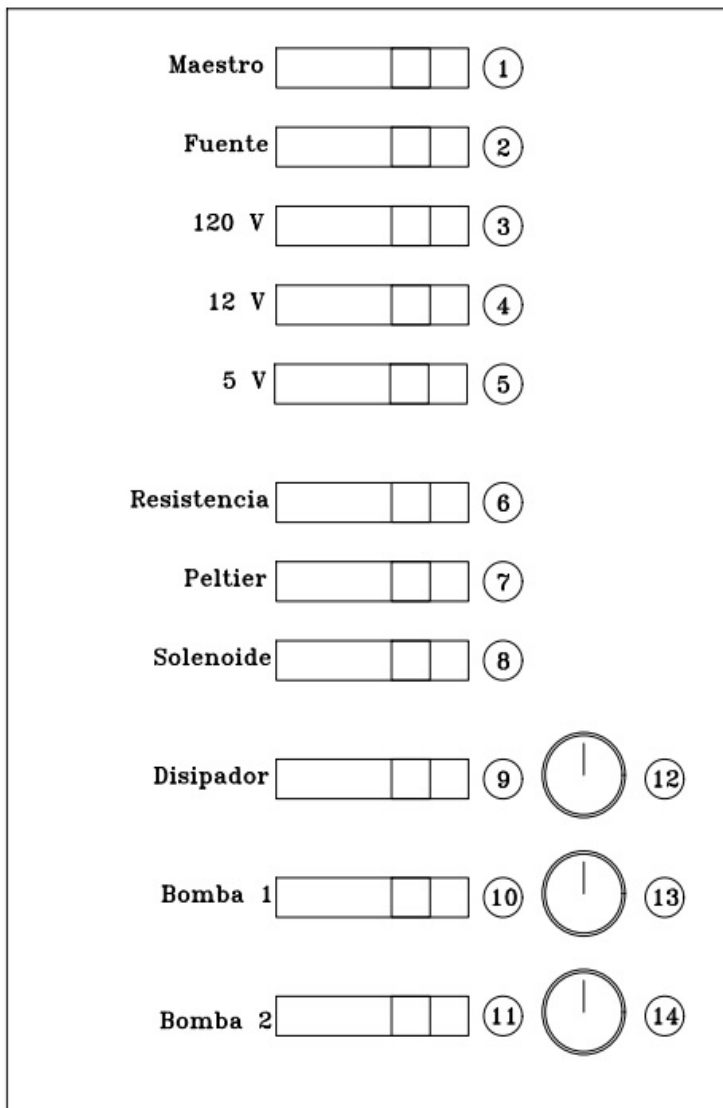


Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Tablero Principal de Control



a) Tablero manual



1. Switch "Maestro"
2. Switch de la fuente de voltaje variable
3. Switch de la línea de 120 V
4. Switch de la línea de 12 V
5. Switch de la línea de 5 V
6. Switch de la resistencia eléctrica RA-01
7. Switch de la celda Peltier PA-01
8. Switch de la válvula de solenoide SDV
9. Switch del disipador de calor DA-01
10. Switch de la bomba de servicio GA-01
11. Switch de la bomba de proceso GA-02
12. Variador de velocidad del disipador de calor DA-01
13. Variador de velocidad de la bomba de servicio GA-01
14. Variador de velocidad de la bomba de proceso GA-01

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	2.17



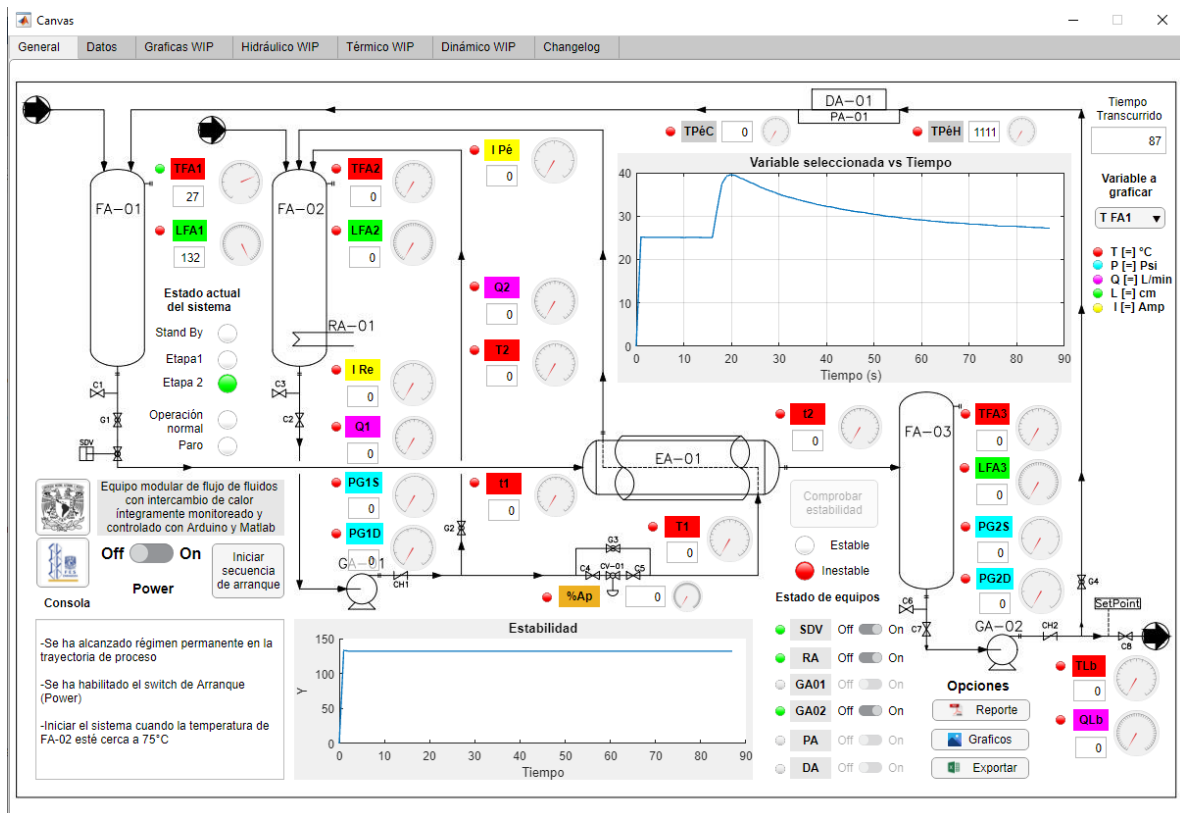
Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab. Tablero Principal de Control



b) Tablero digital

Vista general de la interfaz gráfica de usuario (GUI) versión Beta 1.0. Programado en App Designer de Matlab 2018b, compilado para ejecutarse en Windows 10 64bits, con la función de servir como asistente operativo del equipo modular de flujo de fluidos con intercambio de calor.

A continuación, se explica cuál es la función de cada uno de sus componentes:



Revisión	Autor	Fecha	29 Junio 2020
A. Gómez	Velázquez Pedroza Ángel	Versión	Primera
D. Salazar		# Documento	2.17
V. Villar			

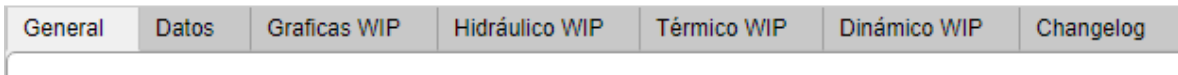
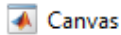


Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Tablero Principal de Control



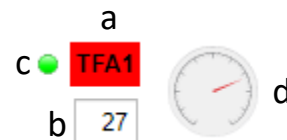
Barra de tareas



- General: Panel principal de la interfaz. Desde esta pestaña se puede monitorear y controlar el equipo modular.
- Datos: Registro de datos en una hoja de cálculo. Desde esta pestaña se tiene acceso al registro de todas las variables.
- Gráficas (*Work in Progress*): Desde esta pestaña se accede a gráficas individuales para cada variable, con opción a diferentes unidades de medición y exportación de datos a Excel.
- Hidráulico (*Work in Progress*): Por definir
- Térmico (*Work in Progress*): Por definir
- Dinámico (*Work in Progress*): Por definir
- *Changelog*: Registro de cambios. Desde esta pestaña se puede consultar la version actual del software con un listado de errores (bugs) solucionados, implementación de nuevas funciones y mejoras en general.

Indicadores generales de estado

- a) Etiqueta de la variable medida
- b) Valor medido actual
- c) Led indicador de operación normal / anormal
- d) Aguja indicadora de rango



Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	2.17



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Tablero Principal de Control



Panel de la esquina inferior izquierda

- a) Botón “Iniciar secuencia de Arranque”. Única opción habilitada al ejecutar la interfaz, oprimirlo comienza con el algoritmo de arranque del equipo modular.
- b) Botones “UNAM”, “Fes-Z”. Cumplen la función de formar parte del sistema de confirmación de acciones del algoritmo de arranque, se habilitan y deshabilitan dependiendo del estado del proceso.
- c) Switch “Power”. Interruptor de prendido/apagado del equipo modular, se habilita y deshabilita dependiendo del estado del proceso.
- d) Consola. Cuadro de órdenes y notificaciones para los operadores.

Equipo modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab

Off On

Power

Iniciar secuencia de arranque

Consola

-Se ha alcanzado régimen permanente en la trayectoria de proceso

-Se ha habilitado el switch de Arranque (Power)

-Iniciar el sistema cuando la temperatura de FA-02 esté cerca a 75°C

Opciones

- a) Reporte. Genera un documento en formato pdf como reporte de operaciones. Dicho documento contiene un resumen de la corrida operativa.
- b) Gráficos. Esta opción guarda una imagen de la gráfica actualmente seleccionada acompañada de la tabla de valores correspondiente.
- c) Exportar. Pasa los datos de todas las variables a una hoja de cálculo de excel para realizar análisis póstumos.

Opciones

Reporte

Graficos

Exportar

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	2.17



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Tablero Principal de Control



Interruptores de los equipos

Interruptores digitales de los diferentes componentes del equipo modular. Cada uno cuenta con un led indicador de estado. Se habilitan y deshabilitan dependiendo del estado del proceso. Las etiquetas significan:

- SDV: Válvula de solenoide
- RA: Resistencia eléctrica
- GA01: Bomba de servicio
- GA02: Bomba de proceso
- PA: Celda Peltier
- DA: Disipador de calor

Estado de equipos

SDV Off On
 RA Off On
 GA01 Off On
 GA02 Off On
 PA Off On
 DA Off On

Panel de la esquina superior derecha

- a) Tiempo transcurrido. Contador de muestras; el intervalo de tiempo es de aproximadamente 1 segundo.

Tiempo Transcurrido
87

- b) Menú desplegable "Variable a graficar". Al oprimir la flecha se despliega un menú que permite al operador seleccionar qué variable será graficada en la gráfica encabezada: "Variable seleccionada Vs Tiempo"

Variable a graficar
T FA1 ▼

- c) Etiqueta "Unidades". Brinda información al operador sobre el código de colores para cada tipo de variable, así como las unidades en las que se encuentran.

T [=] °C
 P [=] Psi
 Q [=] L/min
 L [=] cm
 I [=] Amp

Opciones de estabilidad

- a) Boton "Comprobar estabilidad". Su función es notificar al sistema que la condición de operación se ha emparejado con el Setpoint. Forma parte del algoritmo de arranque, se habilita y deshabilita dependiendo del estado del proceso.

Comprobar estabilidad

Estable
 Inestable

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	2.17

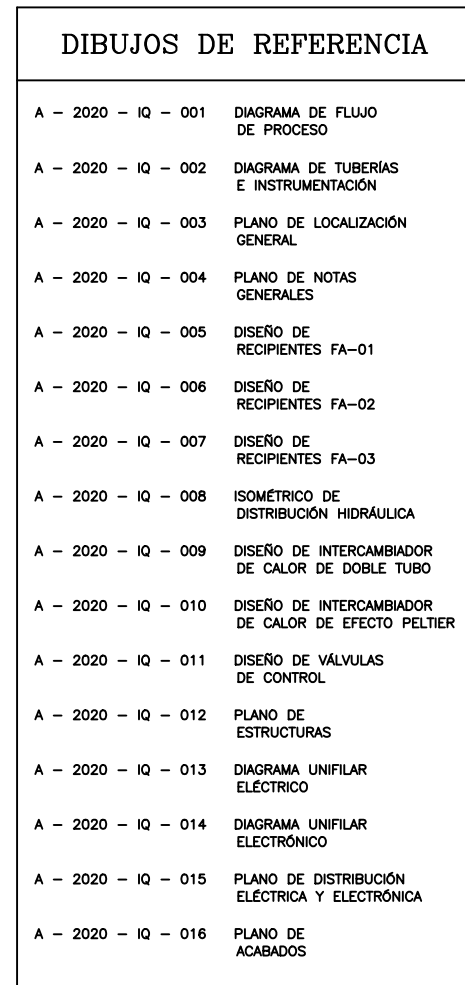
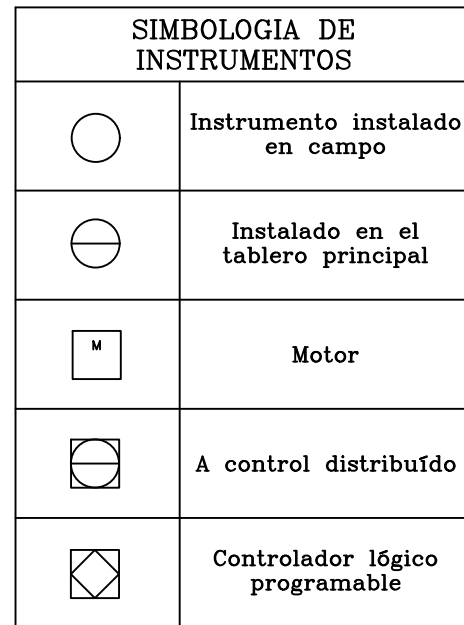
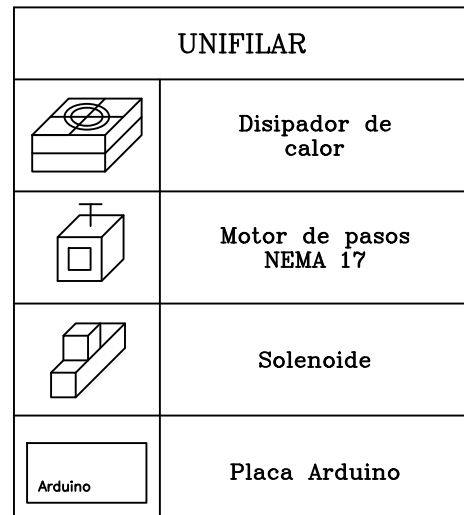
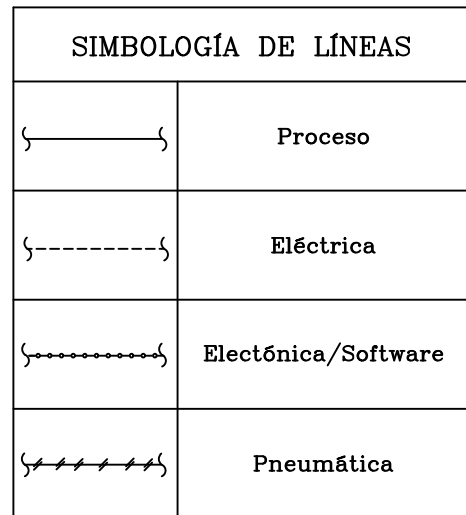
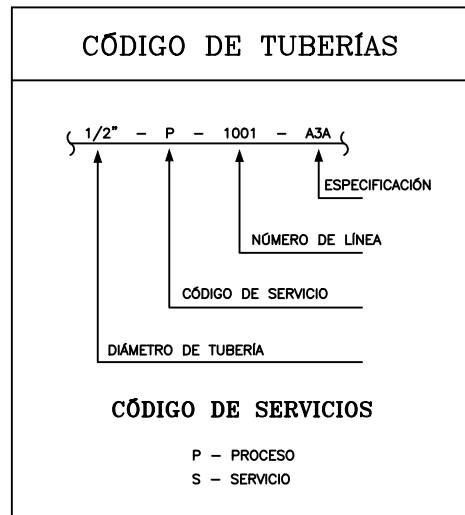


Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Plano de Notas Generales



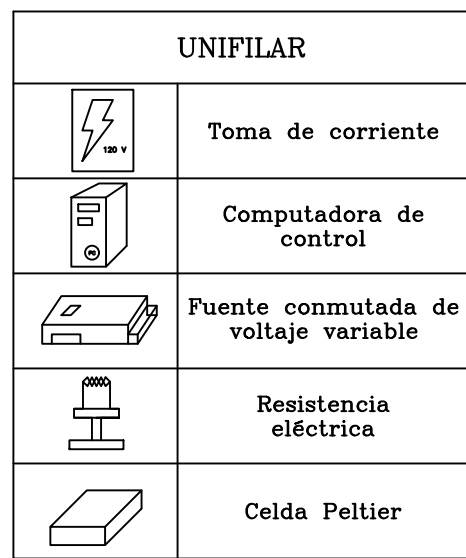
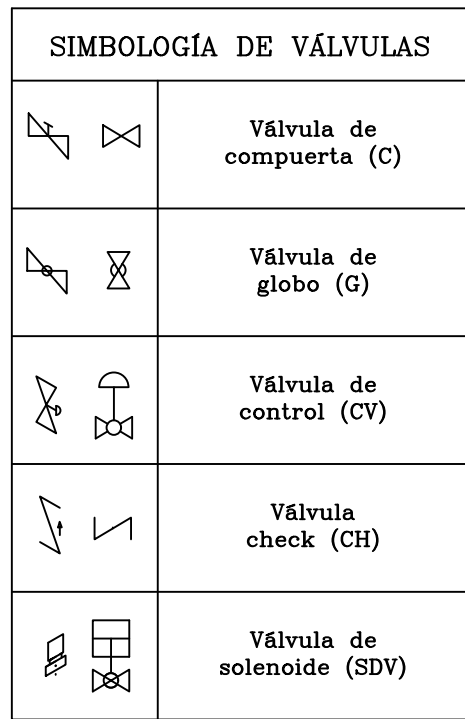
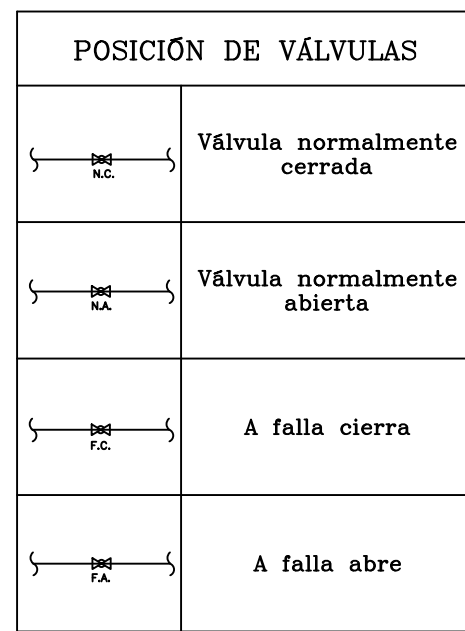
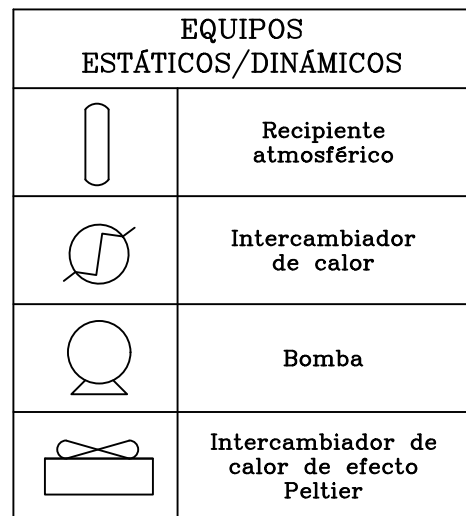
Plano de Notas Generales

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	2.18



NOTAS GENERALES

- La localización de accesorios son independientes de su representación en aquellos diagramas no constructivos.
- Todos los transmisores de temperatura, presión, flujo, nivel e intensidad tienen indicación local.
- En los circuitos de control con varios componentes se mostrarán exclusivamente aquellos que sean necesarios para una correcta interpretación del sistema y favorecer la legibilidad de los planos.
- Las dimensiones de los planos de detalle están especificados en el, apartado correspondiente de notas generales.
- Los codos de tubería de las líneas hidráulicas del isométrico de distribución fueron omitidos asumiendo la obviedad de su localización con la finalidad de favorecer la legibilidad del plano.
- Los niveles mínimos, normales y máximos de los recipientes expresados en el diagrama de tubería e instrumentación son ilustrativos.
- Los drenes de los 3 recipientes están convenientemente acondicionados con un tramo de tubería flexible canalizado a la red de drenaje local.
- La plataforma de montaje está dividida en 2 para facilitar su transporte del sitio de construcción a el sitio de ensamble e instalación
- La valvula de control no cuenta con las típicas reducciones de diámetro a falta de tuberías y accesorios con diámetro menor al utilizado a lo largo del proceso.
- Las bombas están atornilladas a la plataforma de madera en lugar de estar atornilladas a soportes metálicos como las torres estructurales. Esto a razón de evitar la propagación eléctrica en toda la estructura en caso de sobrecarga.
- El gabinete eléctrico está montado inconvientemente alejado de las bombas para evitar interferencias armónicas en los sensores ocasionados por los embobinados.
- La disposición del equipo modular dentro de las instalaciones de la planta piloto, fue determinada a disponibilidad espacial, y no como resultado de una conveniente cercanía a tomas de agua y drenaje.



REVISIONES				DIBUJOS DE REFERENCIA		DIB.		APROBADO POR		PLANO DE NOTAS GENERALES EQUIPO MODULAR DE FLUJO DE FLUIDOS		
CP	FECHA	DESCRIPCIÓN	FECHA	NUM	DIBUJOS DE REFERENCIA	DIB.	AVP	PROY.	AVP	PROYECTO No.:	No. PLANO:	REV.
										IQ-01	A-2020-IQ-004	6



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Filosofía de Operación y Control



Filosofía de Operación y Control

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Segunda
V. Villar			# Documento	2.19



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Filosofía de Operación y Control



Filosofía de Operación y Control

A) Variables de operación y control de proceso

Temperatura (10)

- En todos los recipientes (FA-01, FA-02, FA-03) se tiene monitoreo digital de temperatura
- En el intercambiador de calor de doble tubo EA-01 se tiene monitoreo digital de temperatura en las 4 conexiones a tubería.
- Antes y después del intercambiador de efecto Peltier EA-02 se tiene monitoreo digital de temperatura.
- En límites de batería de salida se tiene monitoreo y control de temperatura, este se lleva a cabo mediante un lazo de control *feedback* manipulando el caudal de suministro de agua de servicio al intercambiador de calor EA-01.

Flujo (3)

- Se tiene monitoreo de flujo en la entrada de proceso del intercambiador de calor EA-01.
- Se tiene monitoreo de flujo en la salida de servicio del intercambiador de calor EA-01.
- En límites de batería de salida se tiene monitoreo de flujo.

Nivel (3)

- En todos los recipientes (FA-01, FA-02, FA-03) se tiene monitoreo de nivel.

Presión (3)

- En las dos bombas (GA-01, GA-02) se tiene monitoreo de presión en la succión y en la descarga.

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Segunda
V. Villar			# Documento	2.19



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Filosofía de Operación y Control



Velocidad (3)

- Las bombas periféricas GA-01 y GA-02 están acondicionadas con un potenciómetro para modificar su velocidad mediante modulación de longitud de pulso (PWM).
- El disipador de calor del intercambiador de efecto *Peltier* EA-02 está acondicionado con un potenciómetro para modificar su velocidad mediante modulación de longitud de pulsos (PWM).

Posición (2)

- La válvula de control (CV-01) es emulada con una válvula de globo adosada con un motor de pasos en el vástago, el posicionamiento de la misma está controlada por el *setpoint* de temperatura en límites de batería de salida.
- La válvula de solenoide (SDV) normalmente cerrada, modifica su posición dependiendo del nivel en el tanque de suministro (TA-01)

Corriente eléctrica (2)

- La resistencia eléctrica RA-01 cuenta con monitoreo de corriente eléctrica suministrada.
- La celda Peltier cuenta con monitoreo de corriente eléctrica suministrada.

Estado (6)

Los siguientes componentes se accionan de manera manual con un switch montado sobre el tablero eléctrico, y de manera remota con un relé que se activa desde la interfaz gráfica de usuario (GUI) de la computadora de control.

- Válvula de solenoide (SDV)
- Resistencia eléctrica (RA-01)
- Celda Peltier (PA-01)
- Bomba de servicio (GA-01) y de proceso (GA-02)
- Disipador de la celda Peltier (DA-01)

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Segunda
V. Villar			# Documento	2.19



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Filosofía de Operación y Control



B) Procedimientos de operaciones especiales

Arranque

El arranque del equipo modular está diseñado para ser asistido por computadora. A través de la interfaz gráfica de usuario (GUI) los operadores reciben instrucciones una a una sobre qué hacer, de esta manera la siguiente instrucción es liberada hasta que la computadora comprueba que se ha satisfecho la anterior. A continuación se describe el algoritmo de arranque:

0. Como acción previa al arranque, los interruptores manuales de las bombas (GA-01, GA-02), de la resistencia eléctrica (RA-01), de la celda Peltier (PA-01), del disipador de la celda Peltier (DA-01) y de la válvula de solenoide (SDV) deben estar posicionados en “on”. Estos componentes son prendidos y apagados desde la computadora de control, y la función del interruptor manual es más bien como filtro de seguridad en caso de emergencia.

1. La primera instrucción consiste en abastecer de agua los recipientes FA-01 FA-02 y FA-03 hasta cierto nivel, para esto la computadora libera el relé de la válvula de solenoide (SDV) para ser accionada desde la interfaz y poder llenar los recipientes uno después del otro. Si el nivel correcto se ha alcanzado, la computadora arrojará la siguiente instrucción, en caso contrario, la computadora notificará del desajuste de nivel.

2. La segunda instrucción consiste en encender la resistencia eléctrica (RA-01), arrancar la bomba de proceso (GA-02), mantener abierta la válvula de solenoide (SDV) y ajustar el caudal con válvulas de globo manuales en 2 terminales: en la entrada al intercambiador de calor de doble tubo, y en la descarga de la bomba de proceso (GA-02). Si estas condiciones se han alcanzado, la computadora arrojará la siguiente instrucción, en caso contrario, la computadora notificará sobre qué acción se tiene que corregir.

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Segunda
V. Villar			# Documento	2.19



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Filosofía de Operación y Control



3. En este punto, sobre la consola de notificaciones de la interfaz, aparecerá el mensaje “Se ha alcanzado el régimen permanente en la trayectoria de proceso”, la tercera instrucción consiste en accionar el switch etiquetado como “Power” en la interfaz.

Operación normal

Durante la operación normal el equipo modular desencadena un grupo de acciones internas para auto regularse, y el papel de los operadores se vuelve únicamente el de supervisores. A continuación, se describe el algoritmo de operación normal:

1. La computadora al comprobar que las instrucciones de la secuencia de arranque se han satisfecho, y que las variables de proceso están bajo control, procede a arrancar de manera automática uno a uno los siguientes componentes de manera secuencial: la bomba de servicio (GA-01), la celda Peltier (PA-01), y el disipador de la celda Peltier (DA-01). Para cada acción, la computadora lo notificará.
2. Llegando a determinada temperatura en el recipiente FA-02, la computadora modulará la válvula de control, y buscará llegar al equilibrio fijado por el setpoint de límites de batería de manera automática.

Paro

Una vez llegado al equilibrio operativo, la computadora libera el *switch* de “Power” de la interfaz, y permite al operador continuar con la secuencia de paro operacional. A continuación, se describe el algoritmo de paro:

1. La computadora apaga de manera secuencial la resistencia eléctrica (RA-01), la celda Peltier (PA-01), el disipador de la celda Peltier (DA-01), y las bombas de servicio y proceso (GA-01, GA-02). Posteriormente cierra la válvula de solenoide

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Segunda
V. Villar			# Documento	2.19



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Filosofía de Operación y Control



(SDV) y abre por completo la válvula de control (CV-01), la computadora emitirá notificación de que se puede purgar el sistema.

2. Después de esperar a que la temperatura del agua de servicio lo permita, los operadores podrán proceder a vaciar los recipientes a través de sus respectivas válvulas de drenado.

C) Operaciones anormales

Paro por emergencia

En caso de que alguno de los sensores, instrumentos o equipos presente un comportamiento inadecuado o del cual se sospeche podría desencadenar una situación de emergencia, los operadores deben tomar la decisión de efectuar alguna de las siguientes medidas dependiendo de la gravedad de la situación:

1. Las bombas (GA-01, GA-02), la resistencia eléctrica (RA-01), la celda Peltier y su disipador (PA-01, DA-01) y la válvula de solenoide (SDV) (normalmente cerrada) pueden apagarse manualmente desde el gabinete eléctrico. Medidas manuales deberán implementarse en caso de que la interfaz gráfica de usuario deje de funcionar.

2. Adicional al interruptor manual para cada uno de los equipos, se cuenta con interruptores intermedios para cortar el suministro eléctrico de 120, 12 y 5 V. Estos interruptores tienen la función de ser útiles durante las pruebas de arranque, pero en una situación de emergencia donde no se tenga certeza de qué componente está fallando, dichos interruptores serán auxiliares.

3. Adicional a los interruptores manuales de cada equipo, y de los interruptores intermedios, se cuenta con un interruptor “maestro” que corta el suministro eléctrico total. Último recurso de emergencia.

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Segunda
V. Villar			# Documento	2.19



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Filosofía de Operación y Control



4. El equipo modular cuenta con válvulas de paso instaladas con la intención de ser usadas en caso de tener sobre o bajo nivel en los recipientes, el desactivar la electricidad del equipo modular propicia perder el control sobre el nivel de los recipientes, particularmente en el FA-01 y FA-03. Abrir la válvula de drenado de FA-03 evita desbordamientos, a costa de perder agua.

By-pass del sistema digital por uno completamente manual (*WIP*)

Se prevé la instalación de un “*by-pass*” en el *pcb* de interconexión para poder controlar el equipo modular sin necesidad de la interfaz gráfica de usuario (GUI), esto no se contrapone con la configuración digital, ya que los puertos de monitoreo local funcionan de manera independiente a la computadora de control y aún sin la interfaz los sensores siguen arrojando datos a los puertos de monitoreo local; la única adición sería la instalación de un “BIAS” para la implementación de la acción de control de la válvula de control. Dicha consideración será implementada como alternativa manual hasta después de la evaluación del desempeño digital del equipo.

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Segunda
V. Villar			# Documento	2.19



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Especificaciones Generales



Especificaciones Generales

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	19 Octu 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	2.20

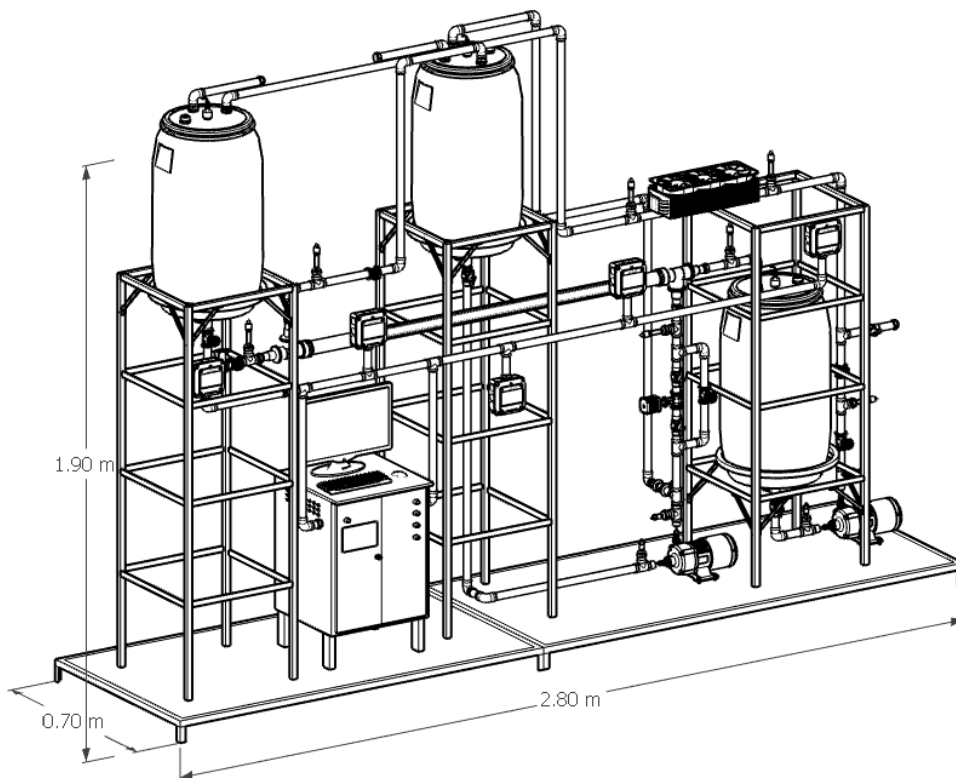


Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Especificaciones Generales



Nombre	Equipo modular de flujo de fluidos Mark V		
Generalidades	Equipo que cumple con la función de calentar hasta 10 L/min de agua a 30°C utilizando un intercambiador de calor de doble tubo. Durante su operación se monitorean y registran digitalmente todas las variables de proceso a través de una interfaz gráfica de usuario. También, el proceso se autorregula a sí mismo con un lazo de control feedback y una válvula de control con actuador mecánico.		
Especificaciones			
Tipo de proceso	Intermitente	Uso recomendado	Académico
Fluido de proceso	Agua @ 24°C	Efluentes	Agua para riego
Fluido de servicio	Agua @ 24°C	Conexión	120 V AC



Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	19 Octu 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	2.20



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Anexo 3 Ingeniería de Detalle



Anexo 3 Ingeniería de Detalle

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Agosto 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3

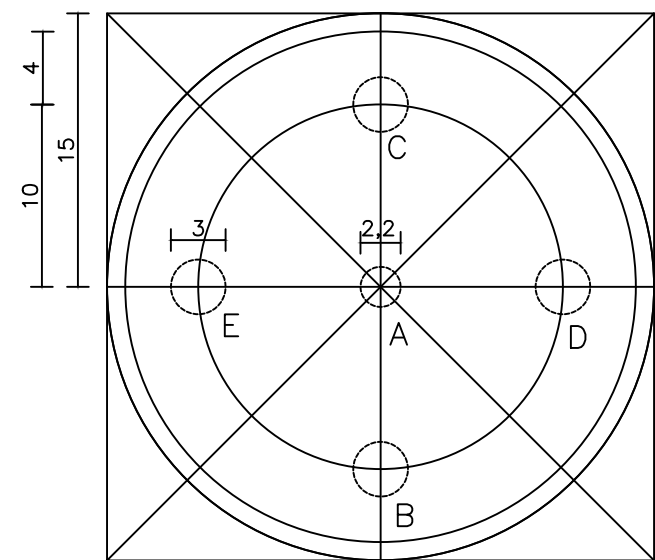
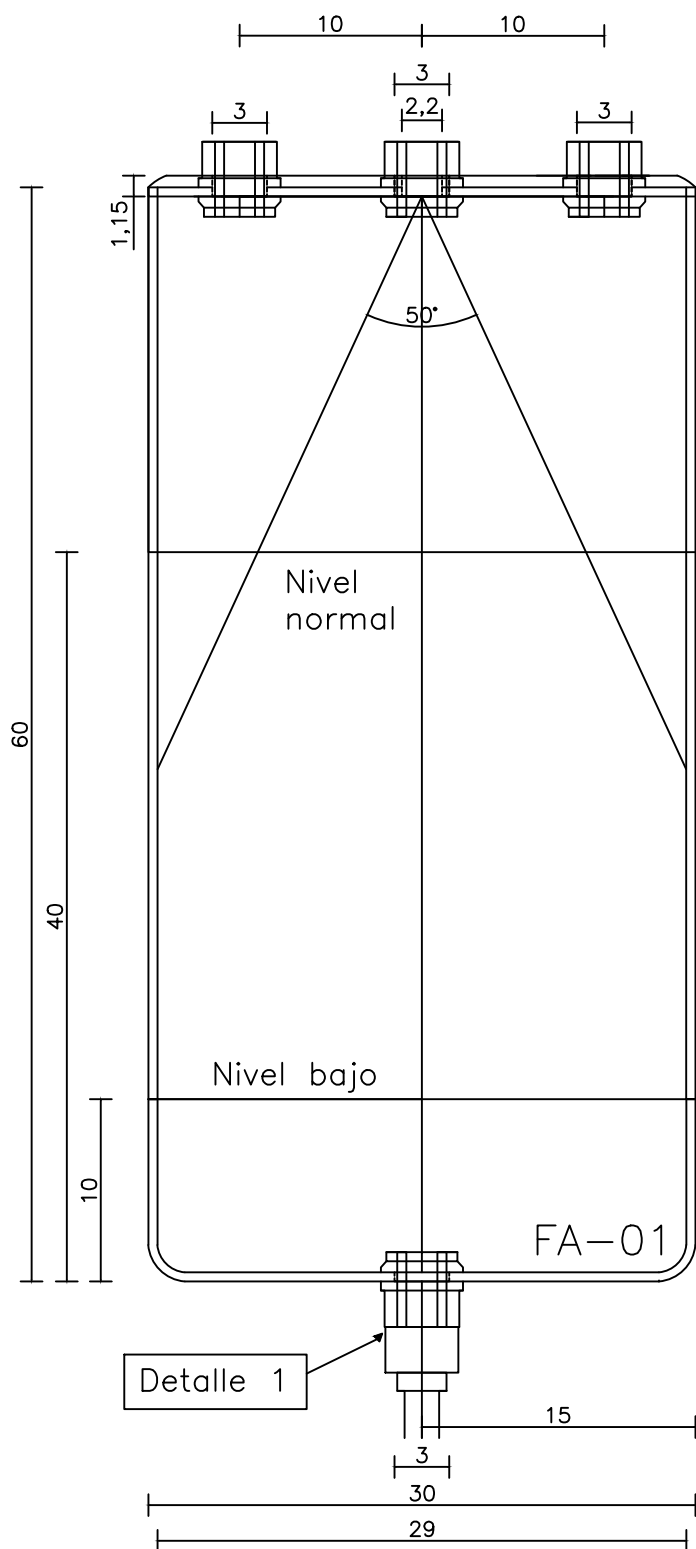


Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Diseño de Recipientes

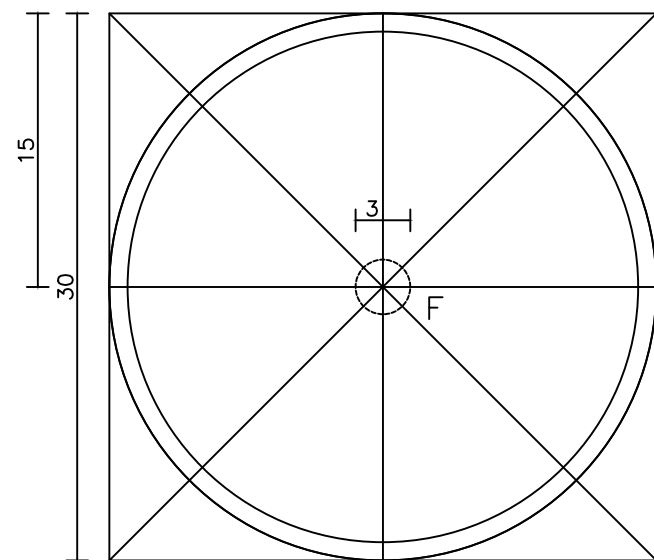


Diseño de Recipientes

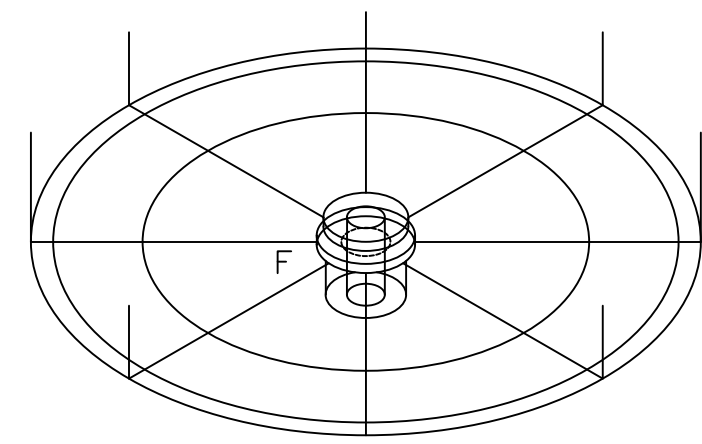
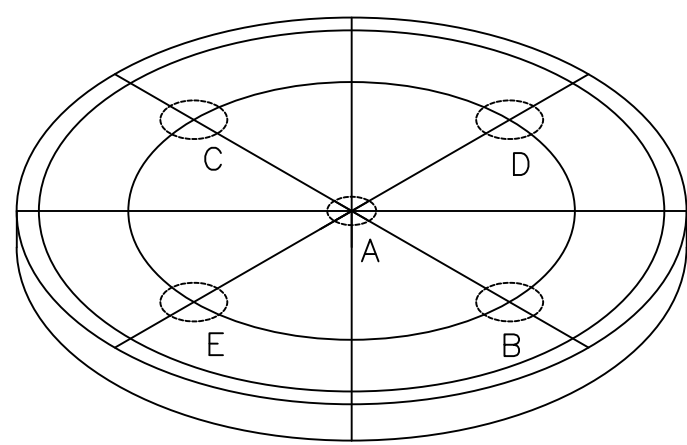
Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.1



Tapa

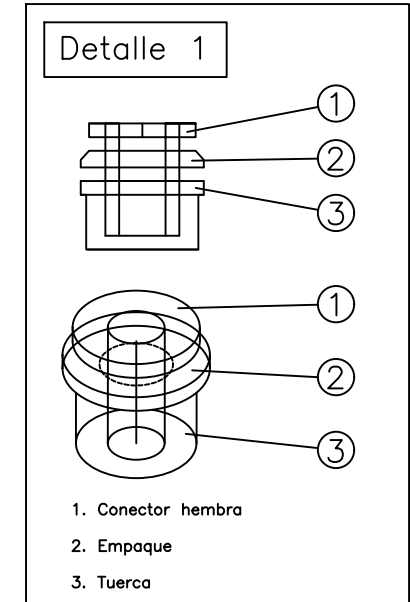


Fondo



Boquillas			
Identificador	Diámetro	Conexión	Servicio
A	2.2 cm	Hembra	Pozo de nivel
B	3 cm	Hembra	Pozo de temperatura
C	3 cm	Hembra	Alimentación
D	3 cm	Hembra	Retorno
E	3 cm	Hembra	Jarro de agua
F	3 cm	Hembra	Salida

Accesorios	
Cantidad	Nombre
5	Adaptador hembra



NOTAS GENERALES

1. Dimensiones en cm.
2. Todas las perforaciones excepto la etiquetada como "A", están acondicionadas con un adaptador hembra. Se decidió no dibujarlas sobre las perforaciones para favorecer la legibilidad del plano.
3. Los adaptadores de las tapas están orientados con la terminal roscada hacia afuera del recipiente.
4. El sensor de nivel requiere un ángulo de medición de 50°
5. El sensor de temperatura está sumergido hasta nivel bajo de líquido.

Datos de diseño	
Servicio	Almacenamiento
Construcción	In situ
Presión de diseño	Atmosférico
Presión de operación	Atmosférico
Temperatura de diseño	120°C max
Temperatura de operación	25°C
Soporte para tubería	Sí
Pintura	No
Plataformas	Sí
Corrosión permisible	---
Prueba hidrostática	---

Dimensiones	
Altura	60 cm
Diámetro	36 cm
Espesor	5 mm
Diámetro de tapa	34 cm
Espesor de tapa	5 mm

Pesos	
Operación	43.15 Kg
Vacío	2.5 Kg
Lleno	61 Kg
Nivel normal (40 cm)	43.15 Kg
Nivel bajo (10 cm)	10.2 L

Materiales	
Cuerpo	Polietileno
Tapas	Polietileno
Accesorios	Polietileno

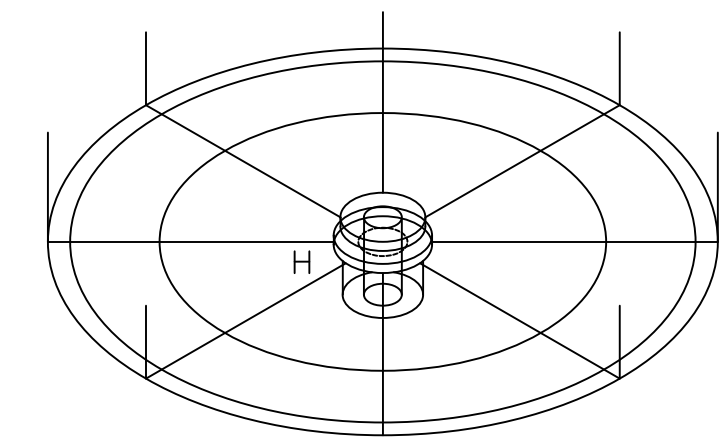
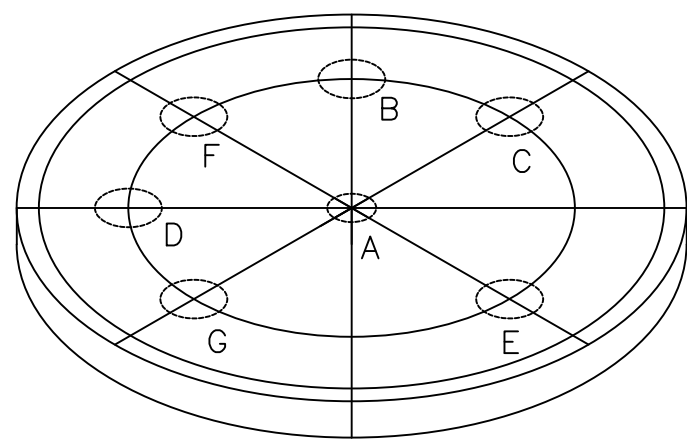
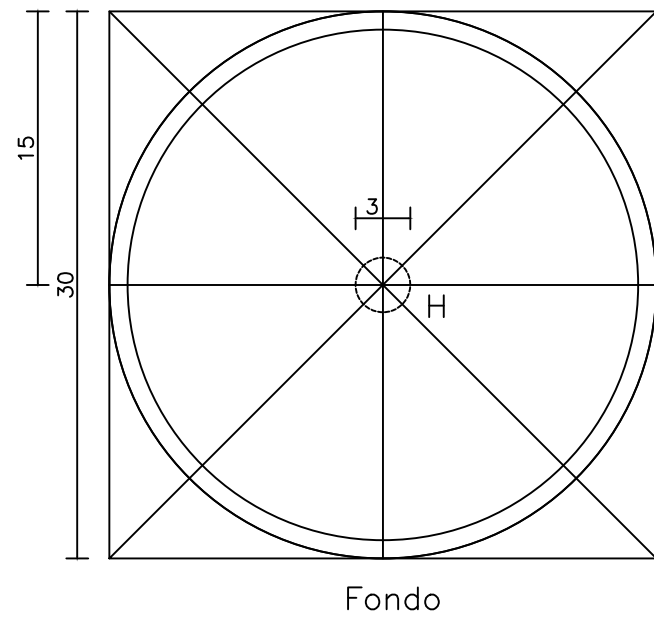
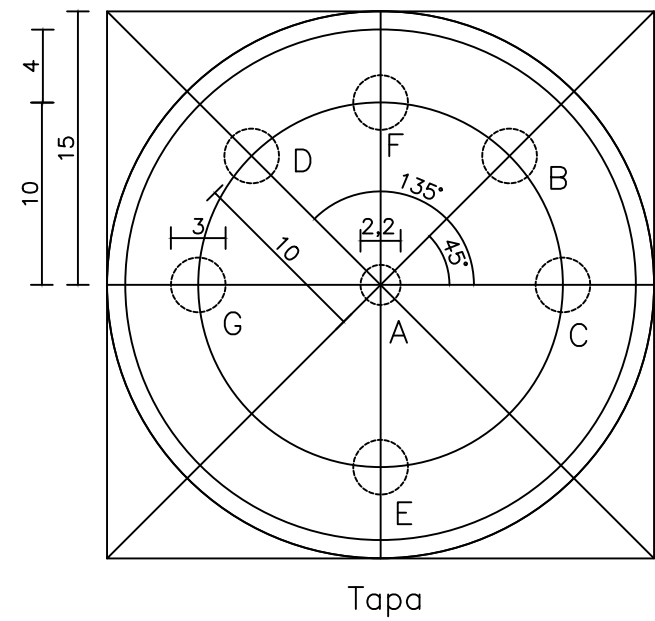
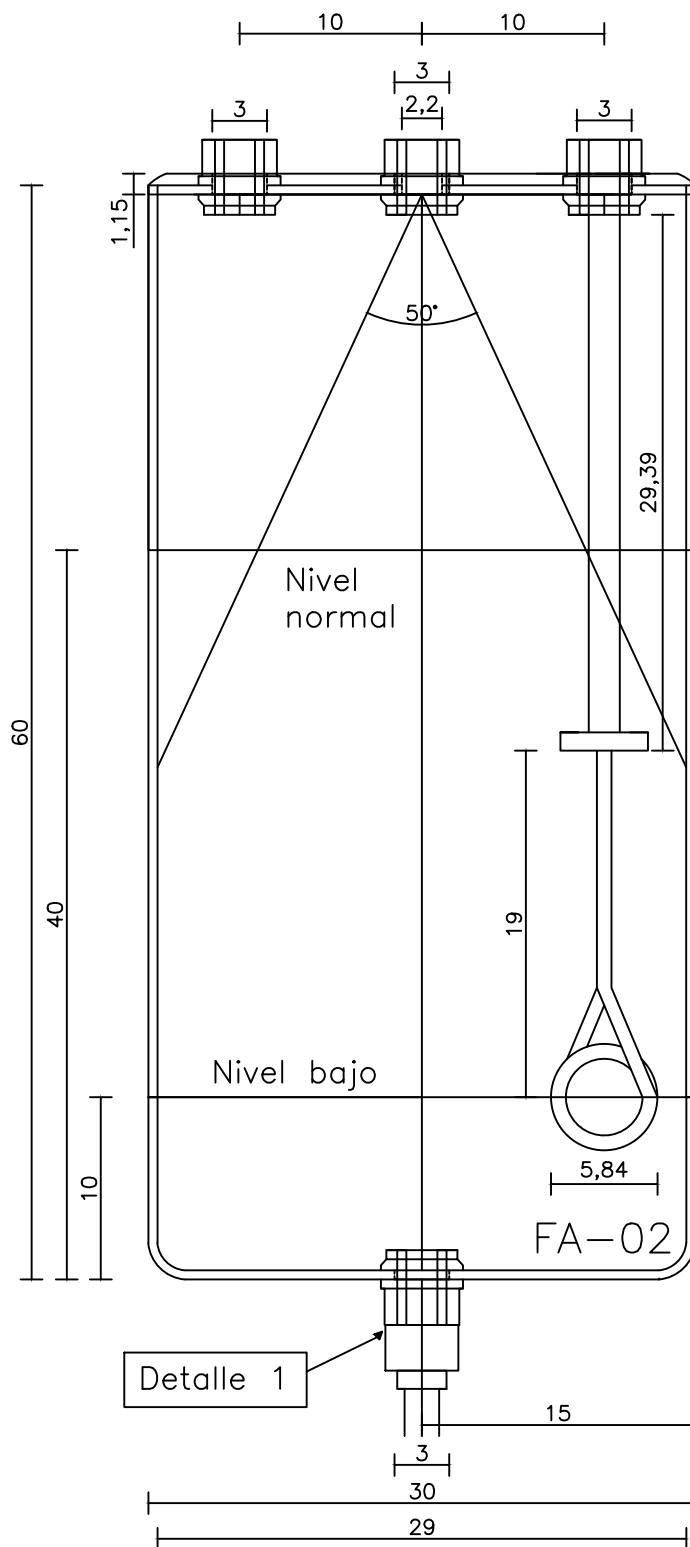
CP	FECHA	REVISIONES				NUM	DIBUJOS DE REFERENCIA		DIB.	AVP
		DESCRIPCION	FECHA	POR	Vo.Bo.		Plano de Notas Generales	A-2020-IQ-004.DWG	PROY.	AVP
									REV.	AVP
									COORD.	AVP
									APROB.	AGG
									ESC.	S/E

ACOT.	SIN



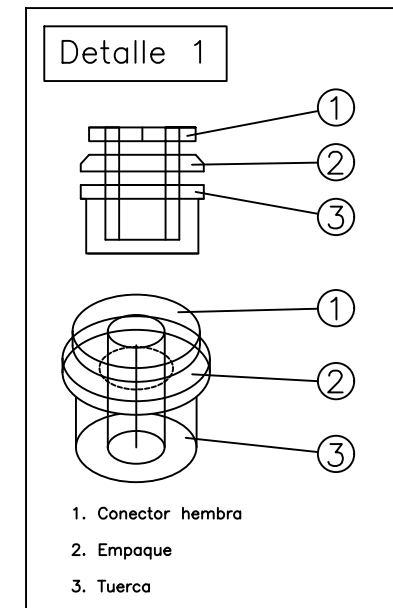
APROBADO POR	

DISEÑO DE RECIPIENTES FA-01 EQUIPO MODULAR DE FLUJO DE FLUIDOS		
PROYECTO No.:	No. PLANO:	REV.
IQ-01	A-2020-IQ-005	1



Boquillas			
Identificador	Diámetro	Conexión	Servicio
A	2.2 cm	Hembra	Pozo de nivel
B	3 cm	Hembra	Pozo de temperatura
C	3 cm	Hembra	Pozo de resistencia eléctrica
D	3 cm	Hembra	Alimentación
E	3 cm	Hembra	Retorno
F	3 cm	Hembra	Alivio de la bomba
G	3 cm	Hembra	Jarro de agua
H	3 cm	Hembra	Salida

Accesorios	
Cantidad	Nombre
7	Adaptador hembra



NOTAS GENERALES

1. Dimensiones en cm.
2. Todas las perforaciones excepto la etiquetada como "A", están acondicionadas con un adaptador hembra. Se decidió no dibujarlas sobre las perforaciones para favorecer la legibilidad del plano.
3. Los adaptadores de las tapas están orientados con la terminal roscada hacia afuera del recipiente.
4. El sensor de nivel requiere un ángulo de medición de 50°
5. El sensor de temperatura está sumergido hasta nivel bajo de líquido.
6. La resistencia eléctrica está sumergida hasta nivel bajo de líquido. La resistencia no deberá de mantenerse operando a niveles debajo de esta condición.

Datos de diseño	
Servicio	Calentamiento
Construcción	In situ
Presión de diseño	Atmosférico
Presión de operación	Atmosférico
Temperatura de diseño	120°C max
Temperatura de operación	80°C
Soporte para tubería	Sí
Pintura	No
Plataformas	Sí
Corrosión permisible	---
Prueba hidrostática	---

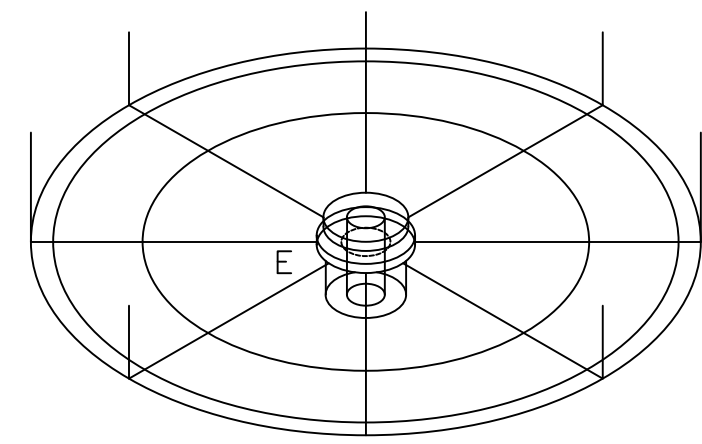
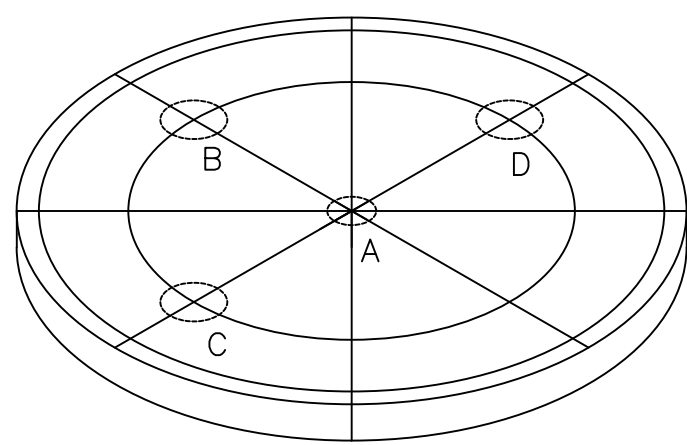
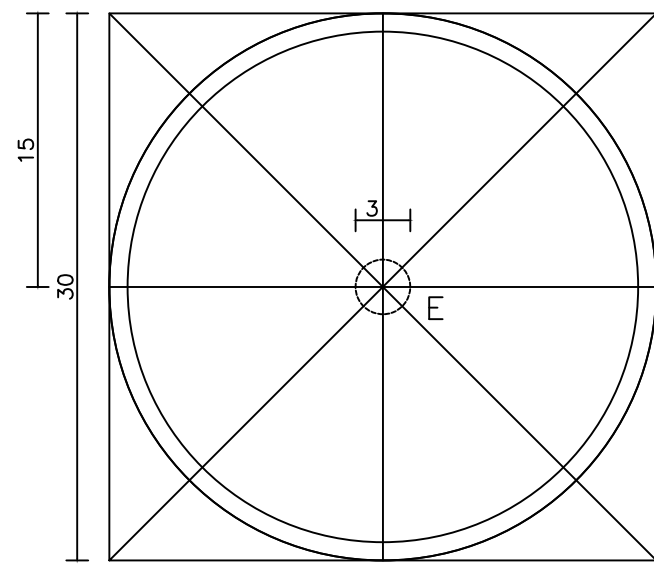
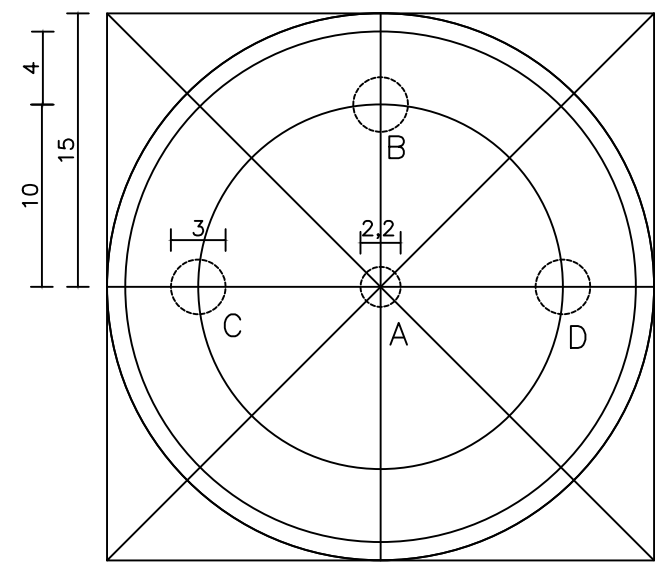
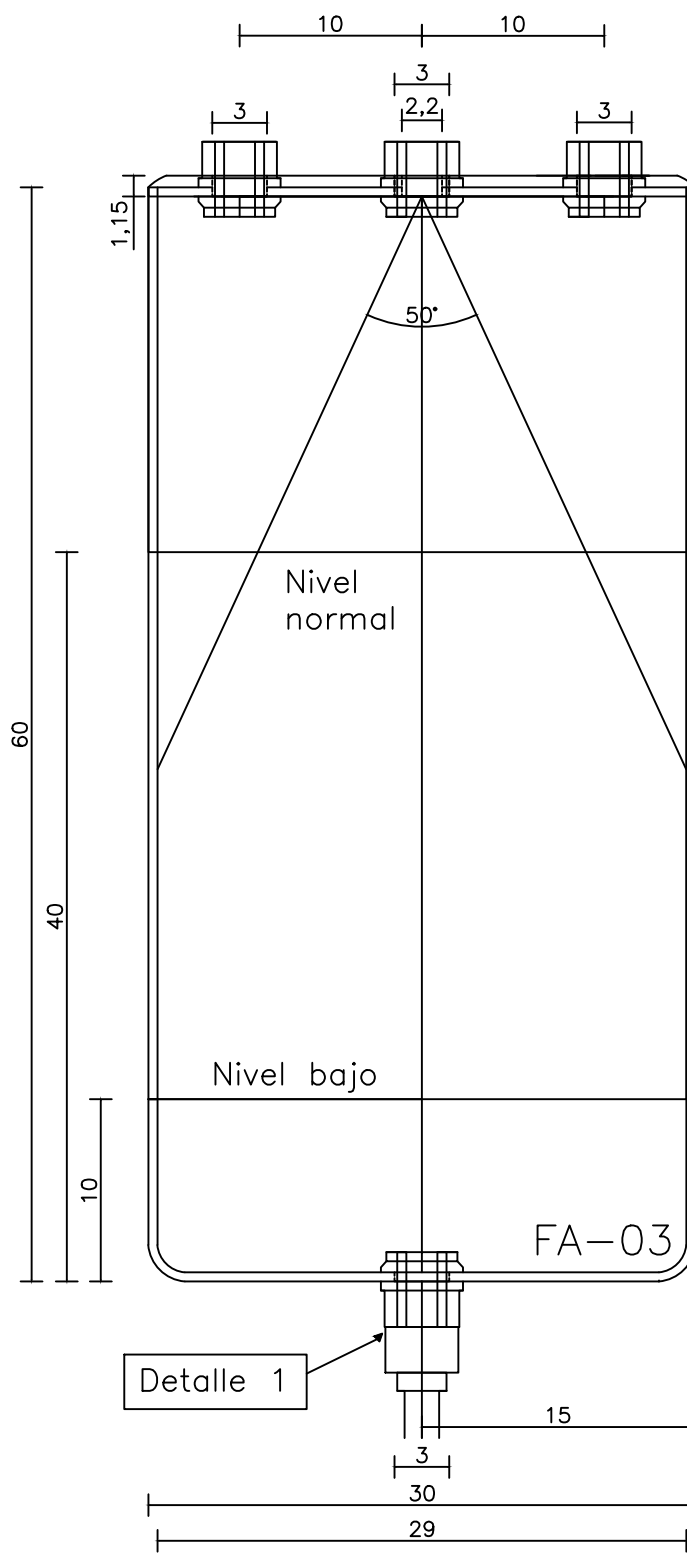
Dimensiones	
Altura	60 cm
Diámetro	36 cm
Espesor	5 mm
Diámetro de tapa	34 cm
Espesor de tapa	5 mm

Pesos	
Operación	43.15 Kg
Vacío	2.5 Kg
Lleno	61 Kg
Nivel normal (40 cm)	43.15 Kg
Nivel bajo (10 cm)	10.2 L

Materiales	
Cuerpo	Polietileno
Tapas	Polietileno
Accesorios	Polietileno

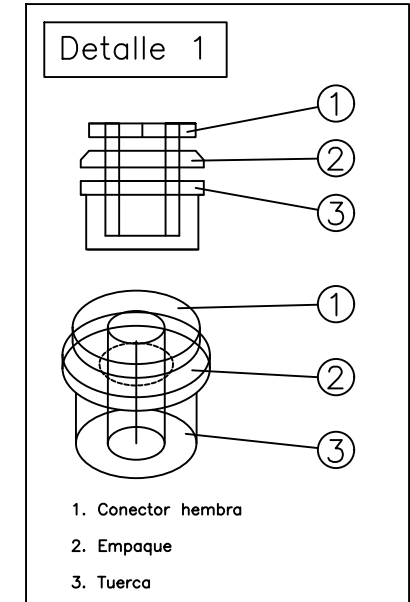
CP	FECHA	REVISIONES			NUM	DIBUJOS DE REFERENCIA		DIB.	AVP	DISEÑO DE RECIPIENTES FA-02 EQUIPO MODULAR DE FLUJO DE FLUIDOS	APROBADO POR		
		DESCRIPCIÓN	FECHA	POR							PROYECTO No.:	No. PLANO:	REV.
										IQ-01	A-2020-IQ-006	1	
										A-2020-IQ-005.DWG			

DIBUJO ELABORADO EN: IZTAPALAPA, CDMX ABR-2020



Boquillas			
Identificador	Diámetro	Conexión	Servicio
A	2.2 cm	Hembra	Pozo de nivel
B	3 cm	Hembra	Pozo de temperatura
C	3 cm	Hembra	Alimentación
D	3 cm	Hembra	Jarro de agua
E	3 cm	Hembra	Salida

Accesorios	
Cantidad	Nombre
4	Adaptador hembra



- NOTAS GENERALES**
1. Dimensiones en cm.
 2. Todas las perforaciones excepto la etiquetada como "A", están acondicionadas con un adaptador hembra. Se decidió no dibujarlas sobre las perforaciones para favorecer la legibilidad del plano.
 3. Los adaptadores de las tapas están orientados con la terminal roscada hacia afuera del recipiente.
 4. El sensor de nivel requiere un ángulo de medición de 50°
 5. El sensor de temperatura está sumergido hasta nivel bajo de líquido.

Datos de diseño	
Servicio	Buffer
Construcción	In situ
Presión de diseño	Atmosférico
Presión de operación	Atmosférico
Temperatura de diseño	120°C max
Temperatura de operación	30°C
Soporte para tubería	Sí
Pintura	No
Plataformas	Sí
Corrosión permisible	---
Prueba hidrostática	---

Dimensiones	
Altura	60 cm
Diámetro	36 cm
Espesor	5 mm
Diámetro de tapa	34 cm
Espesor de tapa	5 mm

Pesos	
Operación	43.15 Kg
Vacío	2.5 Kg
Lleno	61 Kg
Nivel normal (40 cm)	43.15 Kg
Nivel bajo (10 cm)	10.2 L

Materiales	
Cuerpo	Polietileno
Tapas	Polietileno
Accesorios	Polietileno

CP	FECHA	REVISIONES				NUM	DIBUJOS DE REFERENCIA		DIB.	AVP
		DESCRIPCION	FECHA	POR	Vo.Bo.		Plano de Notas Generales	A-2020-IQ-004.DWG	PROY.	AVP
									REV.	AVP
									COORD.	AVP
									APROB.	AGG
									ESC.	S/E

ACOT.	SIN



APROBADO POR	

DISEÑO DE RECIPIENTES FA-03 EQUIPO MODULAR DE FLUJO DE FLUIDOS		
PROYECTO No.:	No. PLANO:	REV.
IQ-01	A-2020-IQ-007	1

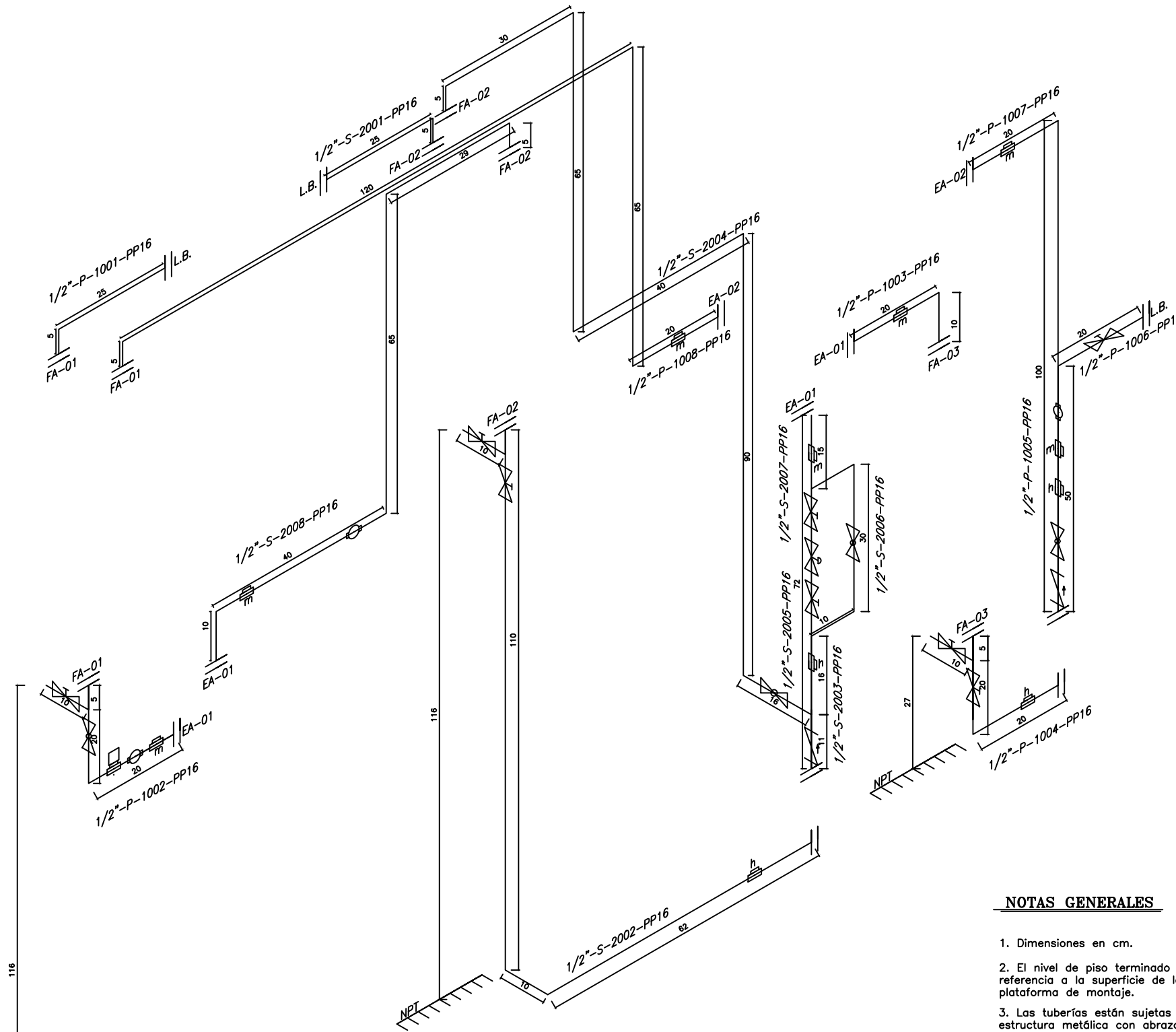


Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Isométrico de Distribución Hidráulica



Isométrico de Distribución Hidráulica

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.2



NOTAS GENERALES

1. Dimensiones en cm.
2. El nivel de piso terminado hace referencia a la superficie de la plataforma de montaje.
3. Las tuberías están sujetas a la estructura metálica con abrazaderas.
3. Las Tee's con rosca tienen la función de ser pozos para sensores. Aquellos con cuerda exterior son para termopares, y los de cuerda interior son para sensores de presión.

Accesorios		
Identificador	Nombre	Cantidad total
A	Entrada a Tubería	6
B	Salida a Tubería	3
C	Conector Hembra	19+4
D	Conector Macho	8
E	Válvula Check	2
F	Codo a 90	22
G	Tee normal	7
H	Tee con Rosca Central Hembra	4
I	Tee con Rosca Central Macho	7
J	Tuerca Unión	-
K	Válvula de Compuerta	8
L	Válvula de Globo	5

Líneas													
#	Clave	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	1/2"-P-1001-PP16	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
2	1/2"-P-1002-PP16	0	1	6	1	0	1	1	0	1	0	1	1
3	1/2"-P-1003-PP16	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0
4	1/2"-P-1004-PP16	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	2	0
5	1/2"-P-1005-PP16	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1
6	1/2"-P-1006-PP16	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
7	1/2"-P-1007-PP16	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
8	1/2"-P-1008-PP16	0	0	1	1	0	3	0	0	1	0	0	0
9	1/2"-S-2001-PP16	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
10	1/2"-S-2002-PP16	0	1	1	1	0	2	1	1	0	0	2	0
11	1/2"-S-2003-PP16	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
12	1/2"-S-2004-PP16	1	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	1
13	1/2"-S-2005-PP16	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
14	1/2"-S-2006-PP16	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1
15	1/2"-S-2007-PP16	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
16	1/2"-S-2008-PP16	1	0	2	1	0	4	0	0	1	0	0	0

Nomenclatura			
Símbolo	Nombre	Símbolo	Nombre
	Válvula de compuerta		Solenoide
	Válvula de control		Sensor de flujo
	Válvula de globo		Tee con rosca
	Válvula Check	m/h	macho/hembra

CP	FECHA	REVISIONES				NUM	DIBUJOS DE REFERENCIA		DIB.	AVP
		DESCRIPCION	FECHA	POR	Vo.Bo.					
						Diagrama de Flujo de Proceso	A-2020-IQ-001.DWG	PROY.	AVP	
						Diagrama de Tuberías e Instrumentación	A-2020-IQ-002.DWG	REV.	AVP	
						Plano de Notas Generales	A-2020-IQ-004.DWG	COORD.	AVP	
								APROBADO	AGG	
								ESC.	S/E	
								ACOT.	SIN	



APROBADO POR	

ISOMÉTRICO DE DISTRIBUCIÓN HIDRÁULICA
EQUIPO MODULAR DE FLUJO DE FLUIDOS

PROYECTO No.: IQ-01	No. PLANO: A-2020-IQ-008	REV. 9
---------------------	--------------------------	--------



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Especificación de Tuberías y Perfil Hidráulico



Especificación de Tuberías y Perfil Hidráulico

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Tercera
V. Villar			# Documento	3.3



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Especificación de Tuberías y Perfil Hidráulico



Perfil Hidráulico					
½"-P-1002-PP16					
<i>Tuboplus ½" 20 mm</i>			<i>Cedula***</i>		
Accesorios					
Accesorio	Cantidad	K unitaria	Accesorio	Cantidad	K unitaria
Entrada a tubería	1	1	Codo a 90	1	2
Salida a tubería	0	0	Tee normal	1	1.3
Conector hembra	5	0.4	Tee con rosca h	0	0
Conector macho	1	0.4	Tee con rosca m	1	0.8
Válvula Check	0	0	Tuerca unión	0	0
Válvula de compuerta	0	0	Válvula de globo	1	1
Dimensionamiento					
Flujo másico máximo Kg/min	NPS		Diámetro nominal	Reynolds	
<i>10 agua @ 25°</i>	<i>½" STD</i>		<i>20 mm</i>	<i>18,699.4</i>	
Factor de fricción	Velocidad m/s		DeltaP100cm (psi)		
<i>0.01749827643</i>	<i>1.3156</i>		<i>0.1723</i>		
Pérdidas de carga					
K Accesorios	Leq accesorios (m)	Hf accesorios(m)	DeltaP accesorios (psi)		
<i>8.5</i>	<i>6.1891</i>	<i>0.7499</i>	<i>1.0634</i>		
Tramo recto (m)		Hf tramo recto (m)		DeltaP tramo recto (psi)	
<i>0.45</i>		<i>0.0547</i>		<i>0.07757</i>	
Perdidas de carga total (m)			DeltaP total (psi)		
<i>0.80463</i>			<i>1.14105</i>		
Perfil de presiones					
Presión al inicio (psi)		Presión al final (psi)		Presión absoluta (psi)	
<i>14.6956 (absoluta)</i>		<i>14.3512 (manométrica)</i>		<i>29.0468 (absoluta)</i>	

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Tercera
V. Villar			# Documento	3.3



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Especificación de Tuberías y Perfil Hidráulico



Perfil Hidráulico					
½"-P-1003- PP16					
<i>Tuboplus ½" 20 mm</i>			<i>Cedula***</i>		
Accesorios					
Accesorio	Cantidad	K unitaria	Accesorio	Cantidad	K unitaria
Entrada a tubería	1	1	Codo a 90	1	2
Salida a tubería	0	0	Tee normal	0	0
Conector hembra	1	0.4	Tee con rosca h	0	0
Conector macho	1	0.4	Tee con rosca m	1	0.8
Válvula Check	0	0	Tuerca unión	0	0
Válvula de compuerta	0	0	Válvula de globo	0	0
Dimensionamiento					
Flujo másico máximo Kg/min	NPS		Diámetro nominal	Reynolds	
<i>10 @ 30°C</i>	<i>½" STD</i>		<i>20 mm</i>	<i>20,836</i>	
Factor de fricción	Velocidad m/s		DeltaP100cm (psi)		
<i>0.01745350677</i>	<i>1.31568</i>		<i>0.1716</i>		
Pérdidas de carga					
K Accesorios	Leq accesorios (m)	Hf accesorios(m)	DeltaP accesorios (psi)		
<i>4.6</i>	<i>3.3471</i>	<i>0.4058</i>	<i>0.5743</i>		
Tramo recto (m)		Hf tramo recto (m)	DeltaP tramo recto (psi)		
<i>0.3</i>		<i>0.0363</i>	<i>0.0514</i>		
Pérdidas de carga total (m)			DeltaP total (psi)		
<i>0.4422</i>			<i>0.6258</i>		
Perfil de presiones					
Presión al inicio (psi)		Presión al final (psi)		Presión absoluta (psi)	
<i>14.251 (manométrica)</i>		<i>14.6956 (absoluta)</i>		<i>28.9468 (absoluta)</i>	

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Tercera
V. Villar			# Documento	3.3



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Especificación de Tuberías y Perfil Hidráulico



Perfil Hidráulico					
½"-P-1004- PP16					
<i>Tuboplus ½" 20 mm</i>			<i>Cedula***</i>		
Accesorios					
Accesorio	Cantidad	K unitaria	Accesorio	Cantidad	K unitaria
Entrada a tubería	0	0	Codo a 90	1	2
Salida a tubería	1	1	Tee normal	1	1.3
Conector hembra	1	0.4	Tee con rosca h	1	0.8
Conector macho	1	0.4	Tee con rosca m	0	0
Válvula Check	0	0	Tuerca unión	0	0
Válvula de compuerta	1	1	Válvula de globo	0	0
Dimensionamiento					
Flujo másico máximo Kg/min	NPS		Diámetro nominal	Reynolds	
<i>10 @ 30°C</i>	<i>½" STD</i>		<i>20 mm</i>	<i>20,836</i>	
Factor de fricción	Velocidad m/s		DeltaP100cm (psi)		
<i>0.01745350677</i>	<i>1.3156</i>		<i>0.1725</i>		
Pérdidas de carga					
K Accesorios	Leq accesorios (m)	Hf accesorios(m)	DeltaP accesorios (psi)		
<i>6.9</i>	<i>5.0207</i>	<i>0.6087</i>	<i>0.8615</i>		
Tramo recto (m)		Hf tramo recto (m)	DeltaP tramo recto (psi)		
<i>0.45</i>		<i>0.0545</i>	<i>0.0772</i>		
Perdidas de carga total (m)			DeltaP total (psi)		
<i>0.6633</i>			<i>0.9387</i>		
Perfil de presiones					
Presión al inicio (psi)		Presión al final (psi)		Presión absoluta (psi)	
<i>14.6956 (absoluta)</i>		<i>14.5519 (manométrica)</i>		<i>29.2475 (absoluta)</i>	

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Tercera
V. Villar			# Documento	3.3



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Especificación de Tuberías y Perfil Hidráulico



Perfil Hidráulico					
½"-P-1005- PP16					
<i>Tuboplus ½" 20 mm</i>			<i>Cedula***</i>		
Accesorios					
Accesorio	Cantidad	K unitaria	Accesorio	Cantidad	K unitaria
Entrada a tubería	0	0	Codo a 90	0	0
Salida a tubería	0	0	Tee normal	1	1.3
Conector hembra	1	0.4	Tee con rosca h	1	0.8
Conector macho	0	0.4	Tee con rosca m	1	0.8
Válvula Check	1	1	Tuerca unión	0	0
Válvula de compuerta	0	0	Válvula de globo	1	1
Dimensionamiento					
Flujo máscico máximo Kg/min	NPS		Diámetro nominal	Reynolds	
<i>10 @ 30°C</i>	<i>½" STD</i>		<i>20 mm</i>	<i>20,836.8</i>	
Factor de fricción	Velocidad m/s		DeltaP100cm (psi)		
<i>0.01745350677</i>	<i>1.3156</i>		<i>0.1716</i>		
Pérdidas de carga					
K Accesorios	Leq accesorios (m)	Hf accesorios(m)	DeltaP accesorios (psi)		
<i>5.3</i>	<i>3.8556</i>	<i>0.4676</i>	<i>0.6617</i>		
Tramo recto (m)	Hf tramo recto (m)		DeltaP tramo recto (psi)		
<i>0.5</i>	<i>0.0606</i>		<i>0.0857</i>		
Perdidas de carga total (m)		DeltaP total (psi)			
<i>0.5282</i>		<i>0.7475</i>			
Perfil de presiones					
Presión al inicio (psi)	Presión al final (psi)		Presión absoluta (psi)		
<i>23.208 (manométrica)</i>	<i>21.7535 (manométrica)</i>		<i>37.9043 (absoluta)</i>		

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Tercera
V. Villar			# Documento	3.3



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Especificación de Tuberías y Perfil Hidráulico



Perfil Hidráulico					
½"-P-1007- PP16					
<i>Tuboplus ½" 20 mm</i>			<i>Cedula***</i>		
Accesorios					
Accesorio	Cantidad	K unitaria	Accesorio	Cantidad	K unitaria
Entrada a tubería	1	1	Codo a 90	1	2
Salida a tubería	0	0	Tee normal	0	0
Conector hembra	1	0.4	Tee con rosca h	0	0
Conector macho	0	0	Tee con rosca m	1	0.8
Válvula Check	0	0	Tuerca unión	0	0
Válvula de compuerta	0	0	Válvula de globo	0	0
Dimensionamiento					
Flujo másico máximo Kg/min	NPS		Diámetro nominal	Reynolds	
<i>10 @ 30°C</i>	<i>½" STD</i>		<i>20 mm</i>	<i>20,836.8</i>	
Factor de fricción	Velocidad m/s		DeltaP100cm (psi)		
<i>0.01745350677</i>	<i>1.3156</i>		<i>0.1716</i>		
Pérdidas de carga					
K Accesorios	Leq accesorios (m)	Hf accesorios(m)	DeltaP accesorios (psi)		
<i>4.2</i>	<i>6.18273.0561</i>	<i>0.3705</i>	<i>0.5244</i>		
Tramo recto (m)		Hf tramo recto (m)		DeltaP tramo recto (psi)	
<i>0.7</i>		<i>0.0848</i>		<i>0.1201</i>	
Pérdidas de carga total (m)			DeltaP total (psi)		
<i>0.4554</i>			<i>0.6445</i>		
Perfil de presiones					
Presión al inicio (psi)		Presión al final (psi)		Presión absoluta (psi)	
<i>21.753 (manométrica)</i>		<i>20.4013 (manométrica)</i>		<i>36.4491 (absoluta)</i>	

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Tercera
V. Villar			# Documento	3.3



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Especificación de Tuberías y Perfil Hidráulico



Perfil Hidráulico					
½"-P-1008- PP16					
<i>Tuboplus ½" 20 mm</i>			<i>Cedula***</i>		
Accesorios					
Accesorio	Cantidad	K unitaria	Accesorio	Cantidad	K unitaria
Entrada a tubería	1	1	Codo a 90	3	2
Salida a tubería	1	1	Tee normal	0	0
Conector hembra	1	0.4	Tee con rosca h	0	0
Conector macho	1	0.4	Tee con rosca m	1	0.8
Válvula Check	0	0	Tuerca unión	0	0
Válvula de compuerta	0	0	Válvula de globo	0	0
Dimensionamiento					
Flujo másico máximo Kg/min	NPS		Diámetro nominal	Reynolds	
<i>10 @ 25°C</i>	<i>½" STD</i>		<i>20 mm</i>	<i>18,699.4</i>	
Factor de fricción	Velocidad m/s		DeltaP100cm (psi)		
<i>0.0174982764</i>	<i>1.3156</i>		<i>0.1723</i>		
Pérdidas de carga					
K Accesorios	Leq accesorios (m)	Hf accesorios(m)	DeltaP accesorios (psi)		
<i>9.6</i>	<i>6.9675</i>	<i>0.8469</i>	<i>1.2011</i>		
Tramo recto (m)		Hf tramo recto (m)	DeltaP tramo recto (psi)		
<i>2.05</i>		<i>0.2492</i>	<i>0.3533</i>		
Perdidas de carga total (m)			DeltaP total (psi)		
<i>1.0961</i>			<i>1.5544</i>		
Perfil de presiones					
Presión al inicio (psi)		Presión al final (psi)		Presión absoluta (psi)	
<i>17.401 (manométrica)</i>		<i>14.6953 (absoluta)</i>		<i>32.0969 (absoluta)</i>	

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Tercera
V. Villar			# Documento	3.3



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Especificación de Tuberías y Perfil Hidráulico



Perfil Hidráulico					
½"-S-2002- PP16					
<i>Tuboplus ½" 20 mm</i>			<i>Cedula***</i>		
Accesorios					
Accesorio	Cantidad	K unitaria	Accesorio	Cantidad	K unitaria
Entrada a tubería	0	0	Codo a 90	2	2
Salida a tubería	1	1	Tee normal	1	1.3
Conector hembra	1	0.4	Tee con rosca h	1	0.8
Conector macho	1	0.4	Tee con rosca m	0	0
Válvula Check	0	0	Tuerca unión	0	0
Válvula de compuerta	1	1	Válvula de globo	1	1
Dimensionamiento					
Flujo másico máximo Kg/min	NPS		Diámetro nominal	Reynolds	
<i>21.3 @ 80°C</i>	<i>½" STD</i>		<i>20 mm</i>	<i>97,407</i>	
Factor de fricción	Velocidad m/s		DeltaP100cm (psi)		
<i>0.017139530873</i>	<i>2.8023</i>		<i>0.7464</i>		
Pérdidas de carga					
K Accesorios	Leq accesorios (m)	Hf accesorios(m)	DeltaP accesorios (psi)		
<i>8.9</i>	<i>6.5947</i>	<i>3.5624</i>	<i>4.9226</i>		
Tramo recto (m)		Hf tramo recto (m)		DeltaP tramo recto (psi)	
<i>1.82</i>		<i>0.9831</i>		<i>1.3585</i>	
Pérdidas de carga total (m)			DeltaP total (psi)		
<i>4.5456</i>			<i>6.2811</i>		
Perfil de presiones					
Presión al inicio (psi)		Presión al final (psi)		Presión absoluta (psi)	
<i>14.6956 (absoluta)</i>		<i>9.9479 (manométrica)</i>		<i>24.6435 (absoluta)</i>	

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Tercera
V. Villar			# Documento	3.3



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Especificación de Tuberías y Perfil Hidráulico



Perfil Hidráulico					
1/2"-S-2003- PP16					
Tuboplus 1/2" 20 mm			Cedula***		
Accesorios					
Accesorio	Cantidad	K unitaria	Accesorio	Cantidad	K unitaria
Entrada a tubería	0	0	Codo a 90	0	0
Salida a tubería	0	0	Tee normal	1	1.3
Conector hembra	1	0.4	Tee con rosca h	0	0
Conector macho	0	0	Tee con rosca m	0	0
Válvula Check	1	1	Tuerca unión	0	0
Válvula de compuerta	0	0	Válvula de globo	0	0
Dimensionamiento					
Flujo másico máximo Kg/min	NPS		Diámetro nominal	Reynolds	
21.3 @80°C	1/2" STD		20 mm	97,407.6	
Factor de fricción	Velocidad m/s		DeltaP100cm (psi)		
0.01713953103	2.8023		0.7464		
Pérdidas de carga					
K Accesorios	Leq accesorios (m)	Hf accesorios(m)	DeltaP accesorios (psi)		
2.7	2.0006	1.0807	1.4492		
Tramo recto (m)		Hf tramo recto (m)	DeltaP tramo recto (psi)		
0.10		0.0540	0.0746		
Pérdidas de carga total (m)			DeltaP total (psi)		
1.1347			1.5680		
Perfil de presiones					
Presión al inicio (psi)	Presión al final (psi)		Presión absoluta (psi)		
21.705 (manométrica)	19.9998 (manométrica)		36.4016 (absoluta)		

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Tercera
V. Villar			# Documento	3.3



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Especificación de Tuberías y Perfil Hidráulico



Perfil Hidráulico					
½"-S-2004- PP16					
<i>Tuboplus ½" 20 mm</i>			<i>Cedula***</i>		
Accesorios					
Accesorio	Cantidad	K unitaria	Accesorio	Cantidad	K unitaria
Entrada a tubería	1	1	Codo a 90	5	2
Salida a tubería	0	0	Tee normal	0	0
Conector hembra	0	0	Tee con rosca h	0	0
Conector macho	0	0	Tee con rosca m	0	0
Válvula Check	0	0	Tuerca unión	0	0
Válvula de compuerta	0	0	Válvula de globo	1	1
Dimensionamiento					
Flujo másico máximo Kg/min	NPS		Diámetro nominal	Reynolds	
<i>11.7 @ 80°C</i>	<i>½" STD</i>		<i>20 mm</i>	<i>53,505.61</i>	
Factor de fricción	Velocidad m/s		DeltaP100cm (psi)		
<i>0.01721058338</i>	<i>1.5393</i>		<i>0.2261</i>		
Pérdidas de carga					
K Accesorios	Leq accesorios (m)	Hf accesorios(m)	DeltaP accesorios (psi)		
<i>12</i>	<i>8.8550</i>	<i>1.4492</i>	<i>2.0026</i>		
Tramo recto (m)		Hf tramo recto (m)	DeltaP tramo recto (psi)		
<i>2.45</i>		<i>0.4009</i>	<i>0.5540</i>		
Pérdidas de carga total (m)			DeltaP total (psi)		
<i>1.8502</i>			<i>2.5567</i>		
Perfil de presiones					
Presión al inicio (psi)		Presión al final (psi)		Presión absoluta (psi)	
<i>19.365 (manométrica)</i>		<i>14.6956 (absoluta)</i>		<i>34.061 (absoluta)</i>	

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Tercera
V. Villar			# Documento	3.3



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Especificación de Tuberías y Perfil Hidráulico



Perfil Hidráulico					
½"-S-2005- PP16					
<i>Tuboplus ½" 20 mm</i>			<i>Cedula***</i>		
Accesorios					
Accesorio	Cantidad	K unitaria	Accesorio	Cantidad	K unitaria
Entrada a tubería	0	0	Codo a 90	0	0
Salida a tubería	0	0	Tee normal	1	1.3
Conector hembra	0	0	Tee con rosca h	1	0.8
Conector macho	0	0	Tee con rosca m	0	0
Válvula Check	0	0	Tuerca unión	0	0
Válvula de compuerta	1	1	Válvula de globo	0	0
Dimensionamiento					
Flujo másico máximo Kg/min	NPS		Diámetro nominal	Reynolds	
<i>10.2 @ 80°C</i>	<i>½" STD</i>		<i>20 mm</i>	<i>46,645.91</i>	
Factor de fricción	Velocidad m/s		DeltaP100cm (psi)		
<i>0.01723364638</i>	<i>1.3419</i>		<i>0.1721</i>		
Pérdidas de carga					
K Accesorios	Leq accesorios (m)	Hf accesorios(m)	DeltaP accesorios (psi)		
<i>3.1</i>	<i>2.2844</i>	<i>0.2845</i>	<i>0.3931</i>		
Tramo recto (m)		Hf tramo recto (m)	DeltaP tramo recto (psi)		
<i>0.30</i>		<i>0.0373</i>	<i>0.0516</i>		
Perdidas de carga total (m)			DeltaP total (psi)		
<i>0.3219</i>			<i>0.4448</i>		
Perfil de presiones					
Presión al inicio (psi)		Presión al final (psi)		Presión absoluta (psi)	
<i>19.865 (manométrica)</i>		<i>19.0056 (manométrica)</i>		<i>34.5606 (absoluta)</i>	

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Tercera
V. Villar			# Documento	3.3



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Especificación de Tuberías y Perfil Hidráulico



Perfil Hidráulico					
1/2"-S-2007- PP16					
<i>Tuboplus 1/2" 20 mm</i>			<i>Cedula***</i>		
Accesorios					
Accesorio	Cantidad	K unitaria	Accesorio	Cantidad	K unitaria
Entrada a tubería	0	0	Codo a 90	0	0
Salida a tubería	0	0	Tee normal	1	1.3
Conector hembra	1	0.4	Tee con rosca h	0	0
Conector macho	0	0	Tee con rosca m	1	0.8
Válvula Check	0	0	Tuerca unión	0	0
Válvula de compuerta	1	1	Válvula de globo	0	0
Dimensionamiento					
Flujo másico máximo Kg/min	NPS		Diámetro nominal	Reynolds	
<i>10.2 @ 80°C</i>	<i>1/2" STD</i>		<i>20 mm</i>	<i>46,645.91</i>	
Factor de fricción	Velocidad m/s		DeltaP100cm (psi)		
<i>0.01723364638</i>	<i>1.3419</i>		<i>0.1721</i>		
Pérdidas de carga					
K Accesorios	Leq accesorios (m)	Hf accesorios(m)	DeltaP accesorios (psi)		
<i>3.5</i>	<i>2.5792</i>	<i>0.3212</i>	<i>0.4439</i>		
Tramo recto (m)		Hf tramo recto (m)	DeltaP tramo recto (psi)		
<i>0.3</i>		<i>0.03736</i>	<i>0.0516</i>		
Pérdidas de carga total (m)			DeltaP total (psi)		
<i>0.3586</i>			<i>0.4955</i>		
Perfil de presiones					
Presión al inicio (psi)		Presión al final (psi)		Presión absoluta (psi)	
<i>19.005 (manométrica)</i>		<i>18.0955 (manométrica)</i>		<i>33.7012 (absoluta)</i>	

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Tercera
V. Villar			# Documento	3.3



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Especificación de Tuberías y Perfil Hidráulico



Perfil Hidráulico					
1/2"-S-2008- PP16					
<i>Tuboplus 1/2" 20 mm</i>			<i>Cedula***</i>		
Accesorios					
Accesorio	Cantidad	K unitaria	Accesorio	Cantidad	K unitaria
Entrada a tubería	1	1	Codo a 90	4	2
Salida a tubería	0	0	Tee normal	0	0
Conector hembra	2	0.4	Tee con rosca h	0	0
Conector macho	1	0.4	Tee con rosca m	1	0.8
Válvula Check	0	0	Tuerca unión	0	0
Válvula de compuerta	0	0	Válvula de globo	0	0
Dimensionamiento					
Flujo másico máximo Kg/min	NPS		Diámetro nominal	Reynolds	
<i>10.2 @ 75°C</i>	<i>1/2" STD</i>		<i>20 mm</i>	<i>43,928.51</i>	
Factor de fricción	Velocidad m/s		DeltaP100cm (psi)		
<i>0.01723364638</i>	<i>1.3419</i>		<i>0.1725</i>		
Pérdidas de carga					
K Accesorios	Leq accesorios (m)	Hf accesorios(m)	DeltaP accesorios (psi)		
<i>11</i>	<i>8.1062</i>	<i>1.0097</i>	<i>1.3990</i>		
Tramo recto (m)		Hf tramo recto (m)	DeltaP tramo recto (psi)		
<i>1.45</i>		<i>0.1806</i>	<i>0.2502</i>		
Pérdidas de carga total (m)			DeltaP total (psi)		
<i>1.1903</i>			<i>1.6493</i>		
Perfil de presiones					
Presión al inicio (psi)		Presión al final (psi)		Presión absoluta (psi)	
<i>17.395 (manométrica)</i>		<i>14.6956 (absoluta)</i>		<i>32.0911 (absoluta)</i>	

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Tercera
V. Villar			# Documento	3.3



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Especificación de Bombas



Especificación de Bombas

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.4



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Especificación de Bombas



En este documento se recopilan aquellos resultados del análisis hidráulico que fueron obtenidos con la finalidad de evaluar el desempeño de equipos de bombeo. La franja amarilla representa las condiciones de operación del equipo modular. Al no estar documentado en el catálogo de bombas el NPSH requerido, se dedujo que al adecuarse al rango de bombeo de la curva de la bomba (caudal vs carga), no habría problemas operativos. La única condición de cavitación es al superar los 26 L/min @ 80°C, lo cual está fuera del rango operativo del equipo modular.

1) Bomba de Servicio GA-01

Datos del Sistema				
Densidad @ 80°C = 971.6 Kg/m ³ = 60.64 lbm/ft ³				
Peso específico @ 80°C = 60.64 lbm/ft ³				
Presión atmosférica = 14.6959 psi				
Presión de vapor @ 80°C = 6.8664 psi				
Gravedad = 9.81 m/s ² = 32.185 ft/s ²				
Q (L/min)	Presión de succión (Psi)	Presión de descarga (Psi)	Delta Presión (Psi)	Delta H (ft)
16.3	12.55069	21.05544	8.504754	19.67575
17.3	12.08551	21.17157	9.086058	21.0206
18.3	11.59265	21.29461	9.701964	22.4455
19.3	11.07209	21.42459	10.3525	23.95052
20.3	10.52384	21.56146	11.03762	25.53553
21.3	9.947911	21.7052	11.75729	27.2005
22.3	9.344287	21.85593	12.51165	28.9457
23.3	8.712974	22.01354	13.30056	30.77086
24.3	8.053973	22.17805	14.12408	32.67607
25.3	7.367282	22.34948	14.9822	34.66133
26.3	6.652901	22.52782	15.87492	36.72665

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.4



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Especificación de Bombas



Datos de la Bomba

Eficiencia = 0.8

Q (L/min)	Carga H m	Carga H (ft)	NPSHd (ft)	NPSHr (ft)
16.3	23.7	79	0.776004	
17.3	22.7	75.66667	0.758287	
18.3	21.7	72.33333	0.739515	
19.3	20.7	69	0.719688	
20.3	19.7	65.66667	0.698807	
21.3	18.7	62.33333	0.676871	
22.3	17.7	59	0.65388	
23.3	16.7	55.66667	0.629835	
24.3	15.7	52.33333	0.604735	
25.3	14.7	49	0.578581	
26.3	13.7	45.66667	0.551372	

Q (L/min)	Flujo másico (lb/hr)	Trabajo lbf*ft/lbm	Potencia hidráulica (hP)	Potencia al freno (hP)
16.3	2149.911	19.67575	0.0213642	0.026705
17.3	2281.807	21.0206	0.024224728	0.030281
18.3	2413.704	22.4455	0.027362012	0.034203
19.3	2545.6	23.95052	0.030792148	0.03849
20.3	2677.496	25.53553	0.034530955	0.043164
21.3	2809.393	27.2005	0.038594386	0.048243
22.3	2941.289	28.9457	0.042998822	0.053749
23.3	3073.185	30.77086	0.047759877	0.0597
24.3	3205.082	32.67607	0.052893676	0.066117
25.3	3336.978	34.66133	0.058416217	0.07302
26.3	3468.874	36.72665	0.064343497	0.080429

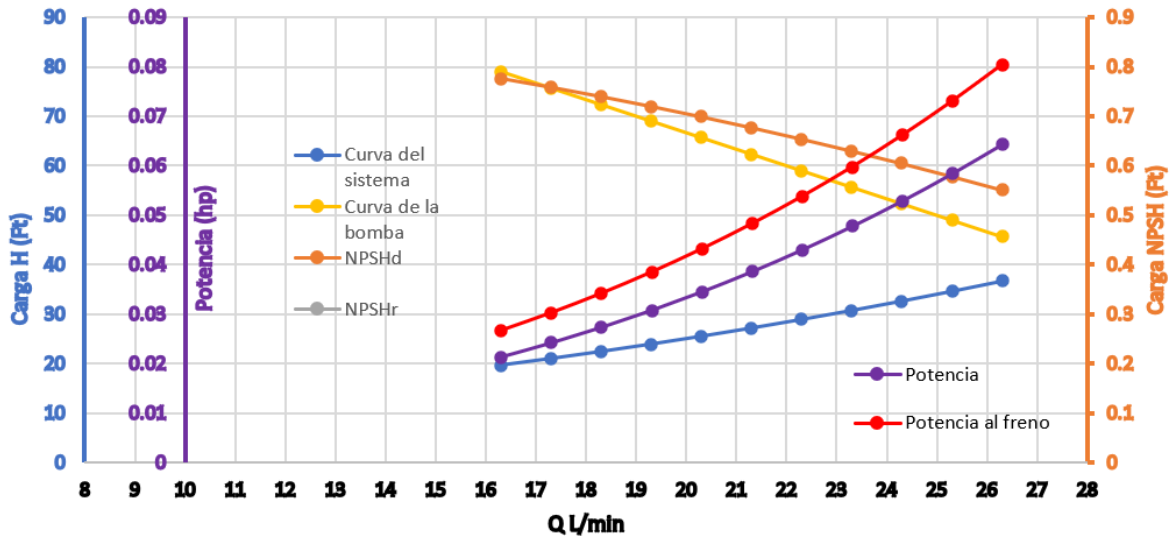
Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.4



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Especificación de Bombas



GA-01



2) Bomba de Proceso GA-02

Datos del Sistema

Densidad @ 25°C = 997.13 Kg/m³ = 62.243 lbm/ft³
 Peso específico @ 25°C = 62.243 lbm/ft³
 Presión atmosférica = 14.6959 psi
 Presión de vapor @ 25°C = 0.6149 psi
 Gravedad = 9.81 m/s² = 32.185 ft/s²

Q (L/min)	Presión de succión (Psi)	Presión de descarga (Psi)	Delta Presión (Psi)	Delta H (ft)
5	15.25598	22.64803	7.392051	17.10151
6	15.15271	22.73026	7.577551	17.53067
7	15.03067	22.82745	7.796778	18.03785
8	14.88985	22.93959	8.049733	18.62306

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.4



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Especificación de Bombas



9	14.73026	23.06667	8.336415	19.2863
10	14.55189	23.20871	8.656825	20.02757
11	14.35474	23.36571	9.010961	20.84687
12	14.13882	23.53765	9.398825	21.74419
13	13.90413	23.72455	9.820417	22.71954
14	13.65066	23.92639	10.27574	23.77292
15	13.37841	24.14319	10.76478	24.90433

Datos de la Bomba

Eficiencia = 0.8

Q (L/min)	Carga H m	Carga H (ft)	NPSHd (ft)	NPSHr (ft)
5	35	116.6667	1.088547	
6	34	113.3333	1.084714	
7	33	110	1.080185	
8	32	106.6667	1.074959	
9	31	103.3333	1.069036	
10	30	100	1.062416	
11	29	96.66667	1.0551	
12	28	93.33333	1.047086	
13	27	90	1.038376	
14	26	86.66667	1.028969	
15	25	83.33333	1.018865	

Q (L/min)	Flujo másico (lb/hr)	Trabajo lbf*ft/lbm	Potencia hidráulica (hP)	Potencia al freno (hP)
5	659.4818	17.10151	0.005696029	0.00712
6	791.3782	17.53067	0.007006762	0.008758

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.4

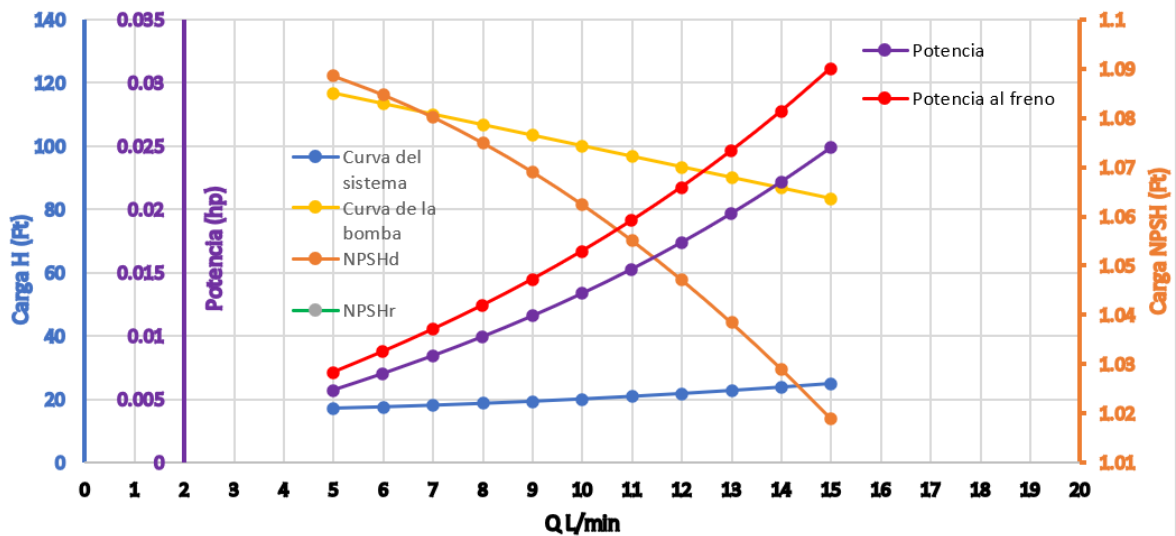


Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Especificación de Bombas



7	923.2746	18.03785	0.008411056	0.010514
8	1055.171	18.62306	0.009924503	0.012406
9	1187.067	19.2863	0.011562697	0.014453
10	1318.964	20.02757	0.013341231	0.016677
11	1450.86	20.84687	0.015275699	0.019095
12	1582.756	21.74419	0.017381694	0.021727
13	1714.653	22.71954	0.01967481	0.024594
14	1846.549	23.77292	0.022170639	0.027713
15	1978.446	24.90433	0.024884776	0.031106

GA-02



Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.4



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Memoria de Cálculo Hidráulico



Memoria de Cálculo Hidráulico

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.5



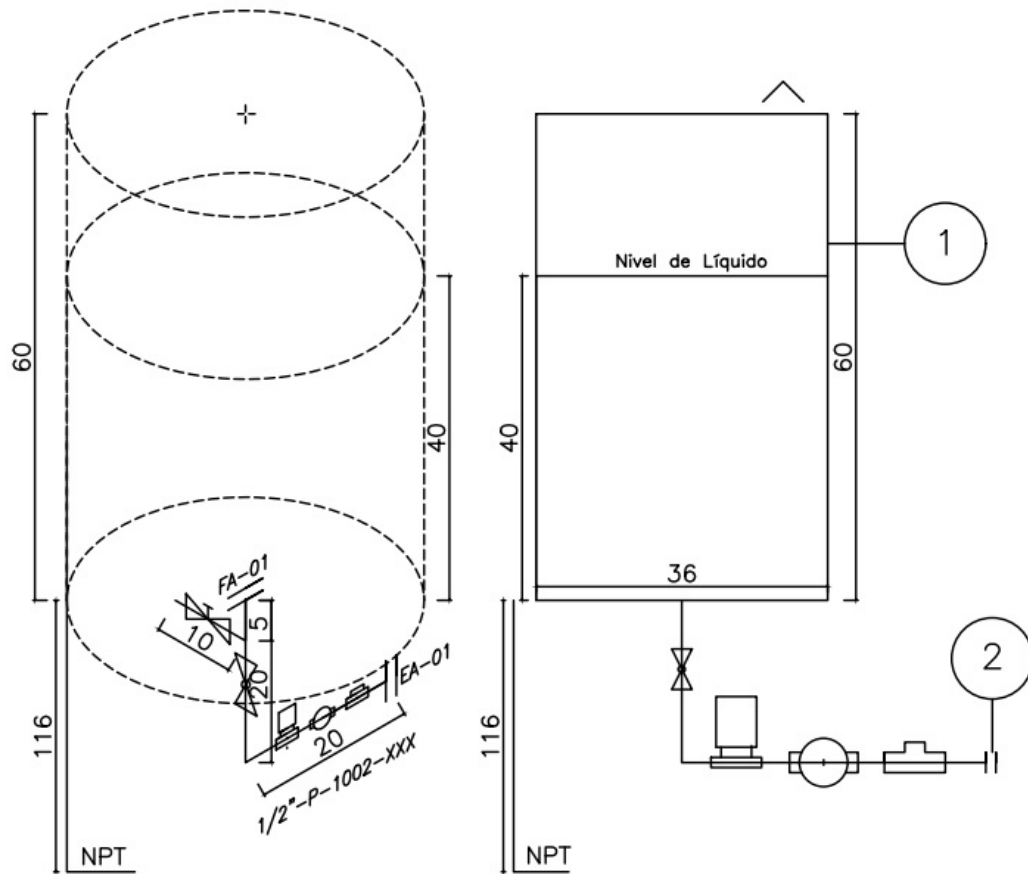
Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Memoria de Cálculo Hidráulico



A continuación, se presenta la secuencia de cálculo para consideraciones hidráulicas del tramo 1/2"-P-1002-PP16.

De la misma manera se realizaron los cálculos para todos los demás tramos del equipo modular, cuyos resultados pueden consultarse en el documento de especificación de tuberías y perfil hidráulico, a excepción de aquellos tramos que resultan poco relevantes. Los cálculos se realizaron en Excel.



Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.5



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Memoria de Cálculo Hidráulico



Datos

Altura del recipiente = 60 cm = 0.6 m

Nivel del agua = 40 cm = 0.4 m

Diámetro del recipiente = 36 cm = 0.36 m

Diámetro de boquilla de salida (D) = 1/2 in = 0.0127 m = 0.041 ft

Densidad del agua (δ) @ 25°C = 997.13 Kg/m³ = 62.2433 lb/f³

Viscosidad del agua (μ) @ 25°C = 0.891 cP = 0.891x10⁻³ Kg/m*s

Rugosidad absoluta Tuboplus™ (ϵ) = 0.007 mm = 0.000007 m

Longitud de tramo recto (L_{Tr}) = 45 cm = 0.45 m = 1.4763 ft

Gravedad (g) = 9.81 m/s² = 32.1846 ft/s²

Caudal (Q) = 10 L/min = 0.01 m³/min = 0.00017 m³/seg

Nota: El caudal se obtiene con la restricción de la válvula de globo, es una de las condiciones de operación. Con la válvula completamente abierta y con 40 cm de nivel el caudal sería de 21.3 L/min

1. Flujo másico máximo (M)

$$M = Q * \delta = 0.01 \frac{m^3}{min} * 1000 \frac{Kg}{m^3} = 10 \frac{Kg}{min} = 0.1667 \frac{Kg}{s}$$

2. Velocidad por ley de continuidad (V)

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4 \left(0.00017 \frac{m^3}{s} \right)}{\pi (0.0127 m)^2} = 1.3156 \frac{m}{s} = 4.3162 \frac{ft}{s}$$

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.5



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Memoria de Cálculo Hidráulico



3. Número de Reynolds ($\#Re$)

$$\#Re = \frac{\delta * V * D}{\mu} = \frac{\left(997.13 \frac{Kg}{m^3}\right) * \left(1.3456 \frac{m}{s}\right) * (0.0127 m)}{\left(0.000891 \frac{Kg}{m * s}\right)} = 18,699.4$$

4. Factor de Fricción (f_f) Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{f_f}} = -2 \text{Log} \left[\frac{2.51}{\#Re} * \sqrt{f_f} + 0.269 \left[\frac{\epsilon}{D} \right] \right]$$

$$\frac{1}{\sqrt{f_f}} = -2 \text{Log} \left[\frac{2.51}{18,699.4} * \sqrt{f_f} + 0.269 \left[\frac{0.000007 m}{0.0127 m} \right] \right]$$

$f_f = 0.0174982764393159$ con Solver de Excel™

5. Perdidas de carga para tramo recto ($\mathcal{H}_{f_{LTr}}$) Darcy-Weisbach

$$\mathcal{H}_{f_{LTr}} = \frac{f_f * L_{Tr} * V^2}{D * 2 * g} = \frac{0.01749 * 0.45 m * \left(1.3156 \frac{m}{s}\right)^2}{0.0127 m * 2 * 9.81 \frac{m}{s}} = 0.0547 m$$

6. Caída de presión por cada 100 centímetros (ΔP_{100cm})

$$\Delta P_{100cm} = f_f * \frac{(100 cm)ft}{D} \left[\frac{\delta * V^2}{2 * gc * 144} \right] [=] \text{ (sistema inglés)}$$

$$0.01749 * \frac{3.2808 ft}{0.04167 ft} \left[\frac{\left(62.2433 \frac{lbm}{ft^3}\right) * \left(4.3162 \frac{ft}{s}\right)^2}{2 * 32.1846 \frac{ft}{s^2} * 144} \right] = 0.1723 Psi$$

Revisión		Autor	Fecha	29 Junio 2020
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Versión	Primera
D. Salazar			# Documento	3.5
V. Villar				



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Memoria de Cálculo Hidráulico



7. K's de accesorios

Accesorio	Cantidad	K unitaria	Accesorio	Cantidad	K unitaria
Entrada a tubería	0	0	Codo a 90	1	2
Salida a tubería	1	1	Tee normal	1	1.3
Conector hembra	5	0.4	Tee con rosca h	0	0
Conector macho	1	0.4	Tee con rosca m	1	0.8
Válvula Check	0	0	Tuerca unión	0	0
Válvula de compuerta	0	0	Válvula de globo	1	1

Nota: En esta lista se excluye un conector hembra y una válvula de compuerta, ya que no forman parte de la trayectoria principal del fluido de proceso durante la operación normal.

K total de accesorios = 8.5

8. Longitud equivalente (L_{Eq})

$$L_{Eq} = \frac{K_{Total} * D}{f_f} = \frac{8.5 * 0.0127 \text{ m}}{0.01745} = 6.1691 \text{ m}$$

9. Pérdidas de carga para accesorios (\mathcal{H}_{fAcc})

$$\mathcal{H}_{fAcc} = \frac{K * V^2}{2 * g} = \frac{8.5 * \left(1.3156 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0.7499 \text{ m}$$

10. Pérdidas de carga totales (\mathcal{H}_{fTot})

$$\mathcal{H}_{fTot} = \mathcal{H}_{fLtr} + \mathcal{H}_{fAcc} = 0.0547 + 0.7499 = 0.80463 \text{ m}$$

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.5



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Memoria de Cálculo Hidráulico



11. Caída de presión para tramo recto (ΔP_{Tr})

$$\Delta P_{Tr} = \frac{f_f * L_{Tr}}{D} * \frac{\delta * V^2}{2 * g_c * 144} [=] \text{ (sistema inglés)}$$

$$\Delta P_{Tr} = \frac{0.01749 * 1.4763 \text{ ft}}{0.04167 \text{ ft}} * \frac{62.2433 \frac{\text{lbm}}{\text{ft}^3} * \left(4.3162 \frac{\text{ft}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 32.1846 \frac{\text{ft}}{\text{s}^2} * 144} = 0.07757 \text{ Psi}$$

12. Caída de presión para accesorios (ΔP_{Acc})

$$\Delta P_{Acc} = \frac{K_{Total} * \delta * V^2}{2 * g_c * 144} [=] \text{ (sistema inglés)}$$

$$\Delta P_{Acc} = \frac{8.5 * 62.2433 \frac{\text{lbm}}{\text{ft}^3} * \left(4.3162 \frac{\text{ft}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 32.1846 \frac{\text{ft}}{\text{s}^2} * 144} = 1.06348 \text{ Psi}$$

13. Caída de presión total (ΔP_{Tot})

$$(\Delta P_{Tot} = \Delta P_{LTr} + \Delta P_{Acc} = 0.07757 \text{ Psi} + 1.0634 \text{ Psi} = 1.14105 \text{ Psi})$$

14. Perfil de presiones

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2 * g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 * g} + Z_2 + \mathcal{H}_{fTot} \text{ (Ecuación de Bernoulli)}$$

$$\text{Presión 1 (} P_1 \text{)} = P_{FA-01} = 1 \text{ atm} = 14.6956 \text{ Psi}$$

$$\text{Peso específico (} \gamma \text{)} = \delta * \frac{g}{g_c} = 62.2433 \frac{\text{lb}_f}{\text{ft}^3}$$

$$\text{Velocidad 1 (} V_1 \text{)} = 0 \text{ (estancamiento asumiendo regimen permanente)}$$

$$\text{Altura 1 (} Z_1 \text{)} = 1.16 \text{ m (NPT)} + 0.4 \text{ m (Nivel)} = 1.56 \text{ m} = 5.1180 \text{ ft}$$

Revisión		Autor	
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha
D. Salazar			Versión
V. Villar			# Documento
			29 Junio 2020
			Primera
			3.5



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Memoria de Cálculo Hidráulico



$$\text{Velocidad 2 } (V_2) = 1.3156 \frac{m}{s} = 4.3164 \frac{ft}{s}$$

$$\text{Gravedad } (g) = 9.81 \frac{m}{s^2} = 32.18 \frac{ft}{s^2}$$

$$\text{Altura 2 } (Z_2) = 1.16 \text{ m (NPT)} - 0.25 \text{ m} = 0.91 \text{ m} = 2.9855 \text{ ft}$$

$$\text{Pérdidas de carga } (\mathcal{H}_{fTot}) = 0.80463 \text{ m} = 2.6398 \text{ ft}$$

$$P_2 = \gamma \left[\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2 * g} + Z_1 - \frac{V_2^2}{2 * g} - Z_2 - \mathcal{H}_{fTot} \right] \dots \text{despejando } P_2 \text{ de la Ec de Bernoulli}$$

$$P_2 = 62.2433 \frac{lb_f}{ft^3} \left[\frac{144 * 14.6956 \frac{lb_f}{ft^2}}{62.2433 \frac{lb_f}{ft^3}} + \frac{\left(0 \frac{ft}{s}\right)^2}{2 * 32.18 \frac{ft}{s^2}} + 5.1180 \text{ ft} - \frac{\left(4.3164 \frac{ft}{s}\right)^2}{2 * 32.18 \frac{ft}{s^2}} - 2.9855 \text{ ft} - 2.6398 \text{ ft} \right] \left[\frac{1 \text{ ft}^2}{144 \text{ in}^2} \right]$$

$$P_2(\text{manométrica}) = 14.3512 \text{ Psi}$$

15. Presión absoluta (P_a)

$$P_a = P_2(\text{manométrica}) + P_{at} = 14.3512 \text{ Psi} + 14.6956 \text{ Psi} = 29.0468 \text{ Psi}$$

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.5

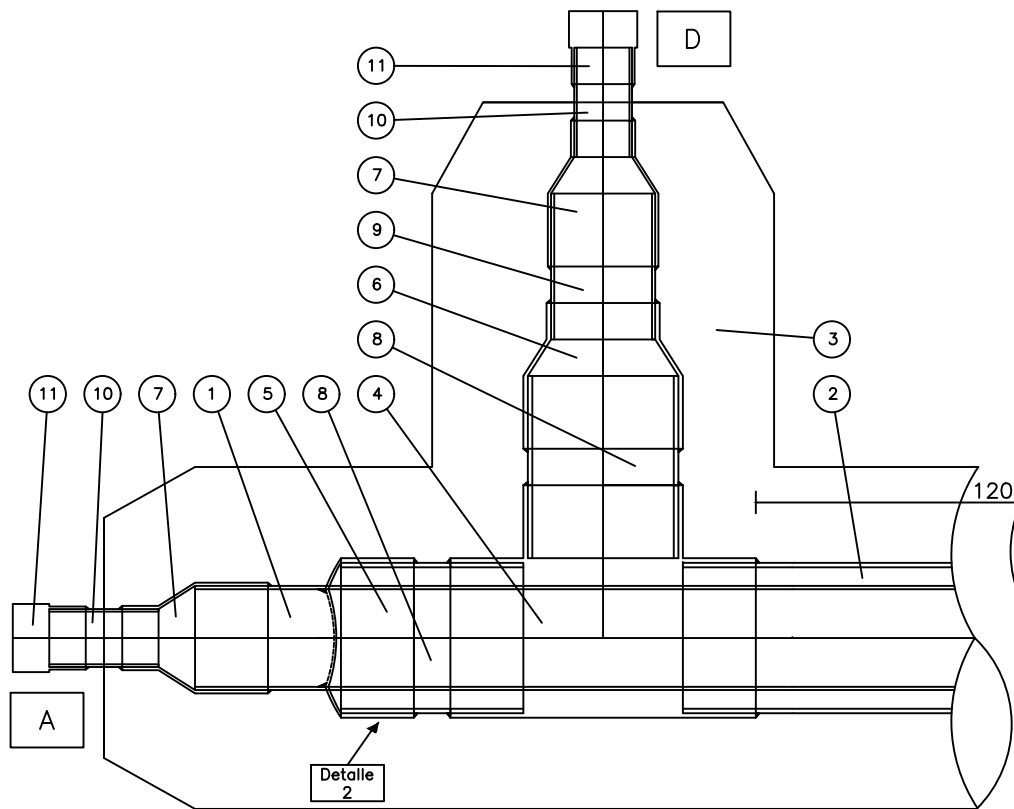


Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Intercambiador de Calor de Doble Tubo

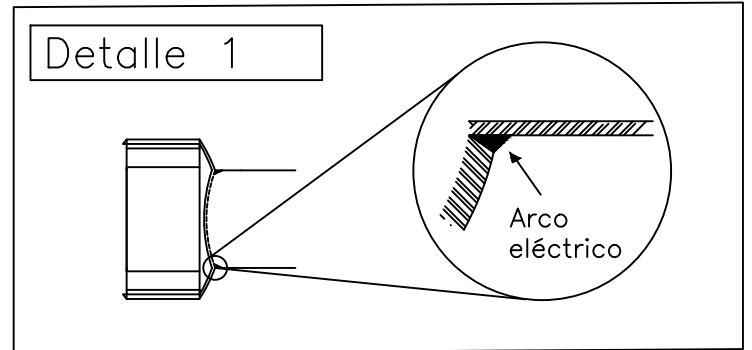


Intercambiador de Calor de Doble Tubo

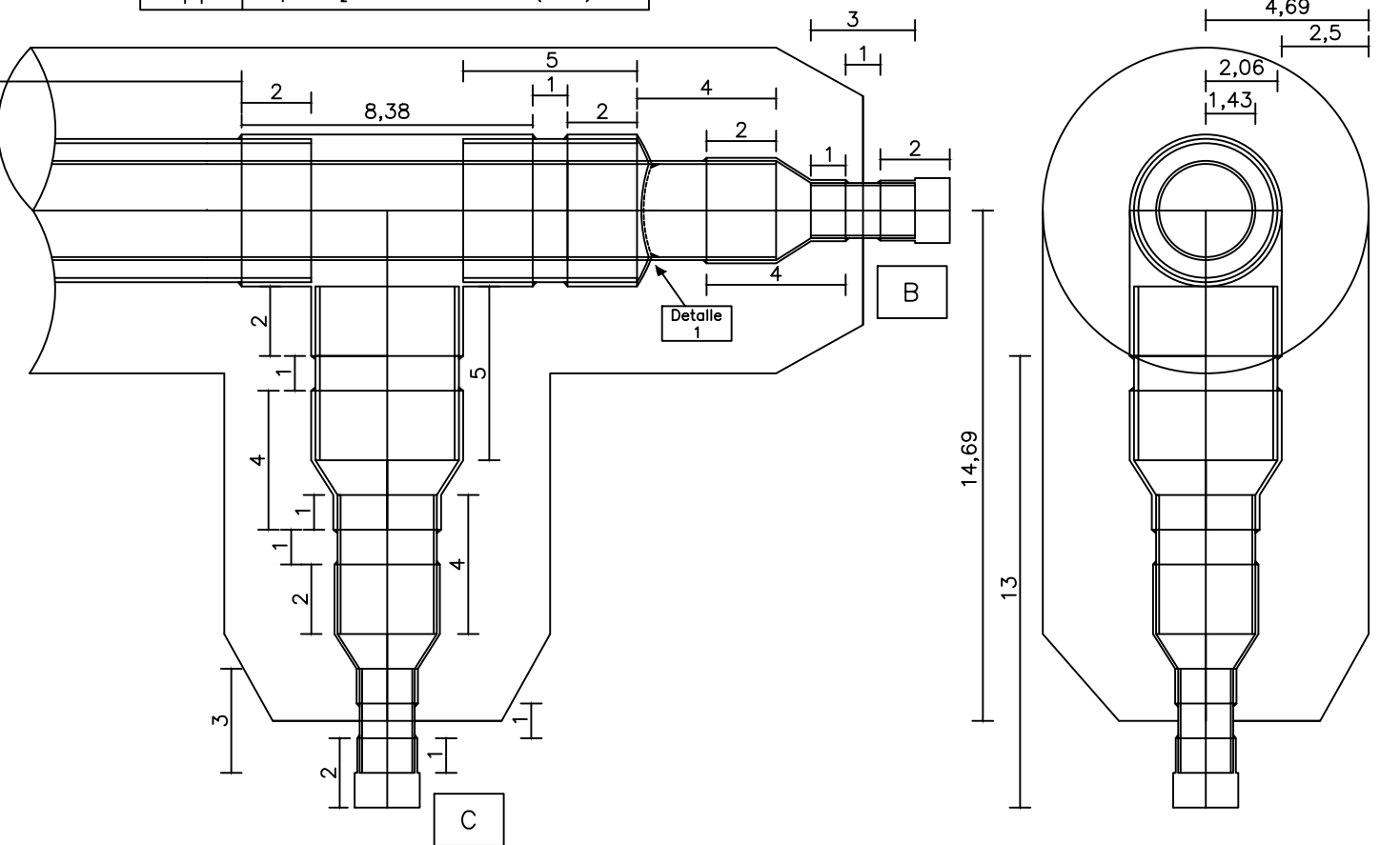
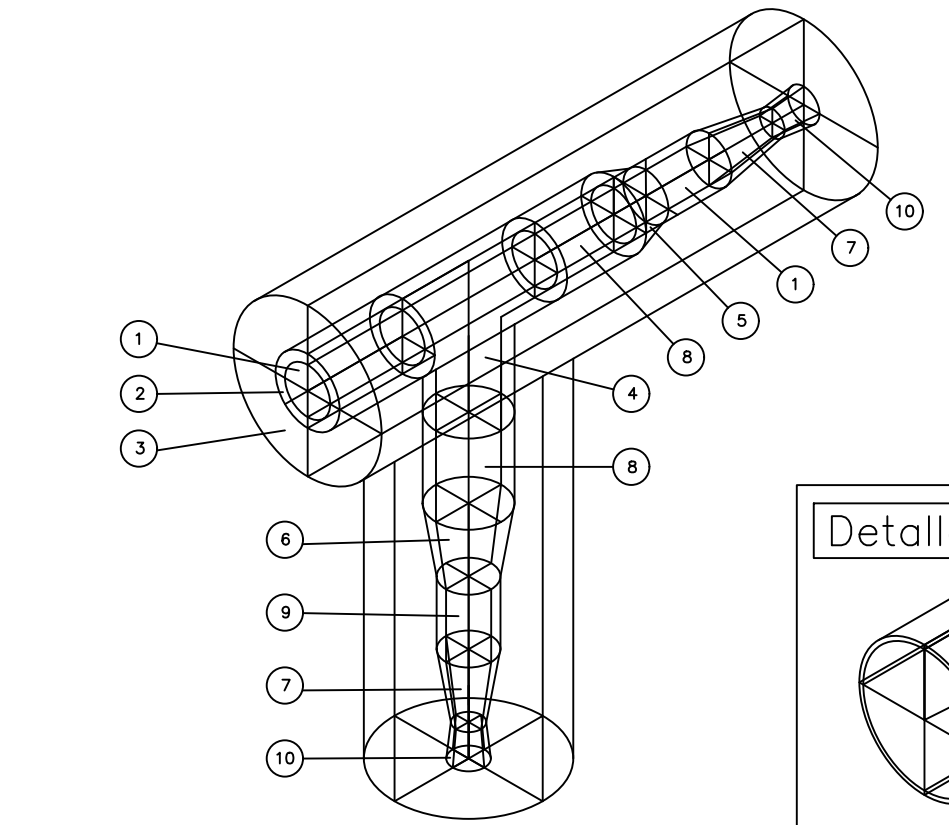
Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.6



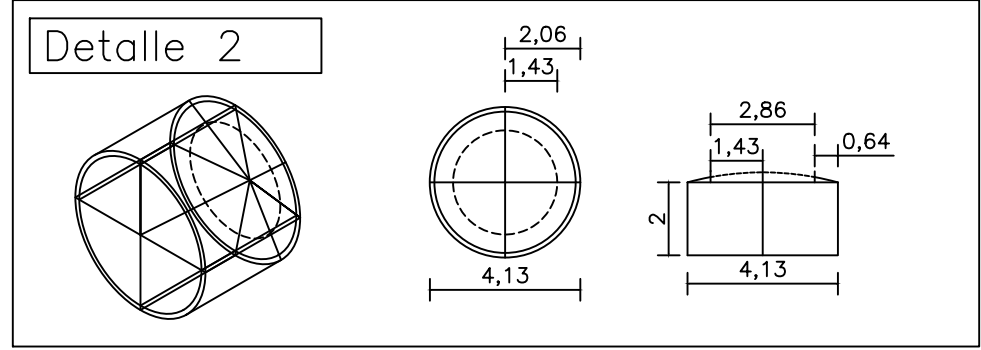
Nomenclatura	
Identificador	Nombre
1	Tubo (cobre 1 1/2")
2	Ánulo (cobre 1")
3	Áislante térmico Armaflex (25mm)
4	Tee (cobre 1 1/2")
5	Tapón (cobre 1 1/2")
6	Reducción de 1 1/2" a 1" (cobre 38x25)
7	Reducción de 1" a 1/2" (cobre 25x13)
8	"Nipple" 1 1/2" (cobre)
9	"Nipple" 1" (cobre)
10	"Nipple" 1/2" (cobre)
11	Adaptador 1/2" con cuerda exterior (cobre)



Accesorios	
Cantidad	Nombre
1.5 m	Tubo (cobre 1 1/2")
0.1 m	Ánulo (cobre 1")
3 m	Áislante térmico Armaflex (25mm)
2	Tee (cobre 1 1/2")
2	Tapón (cobre 1 1/2")
2	Reducción de 1 1/2" a 1" (cobre 38x25)
4	Reducción de 1" a 1/2" (cobre 25x13)
2	"Nipple" 1 1/2" (cobre)
2	"Nipple" 1" (cobre)
4	"Nipple" 1/2" (cobre)
4	Adaptador 1/2" con cuerda exterior (cobre)



Datos de diseño	
Carga térmica	117,40.3 BTU/hr
Superficie total	1.3770 ft ²
Tipo	Recto
Presión de diseño	---
Temperatura de diseño	25-30°C / 80-75°C
Factor de incrustación	0.00495
Horquilla	Recta
Áislante	Armaflex 25mm
Pintura	No
Soldadura arco eléctrico	120 V, Electrodo 2.5mm
Soldadura arco metálico	Propano, 60/40 Sn/Pb
Dimensiones	
Longitud de tubo	1.2 m
Espesor de tubo	0.133 in
Longitud de ánulo	1.2 m
Espesor de ánulo	0.145 in
Espesor de aislante	25 mm
Pesos	
Tubo	0.94 Kg
Ánulo	1.7 Kg
Vacío	3.14 Kg
Lleno	3.5 Kg
En operación	3.5 Kg
Materiales	
Tubo	NaCobre 1" tipo M
Ánulo	NaCobre 1 1/2" tipo M
Accesorios	Nacobre tipo M



Boquillas			
Identificador	Diámetro	Conexión	Servicio
A	1/2"	Macho	Entrada de proceso, terminal fría
B	1/2"	Macho	Salida de proceso, terminal caliente
C	1/2"	Macho	Entrada de servicio, terminal caliente
D	1/2"	Macho	Salida de servicio, terminal fría

- NOTAS GENERALES**
- Dimensiones en cm.
 - Todos los accesorios están soldados con gas propano y soldadura de estaño 60-40.
 - Los "Nipples" consisten en tramos de tubería de cobre de las respectivas dimensiones, y son utilizados como conectores.

CP	FECHA	REVISIONES				NUM	DIBUJOS DE REFERENCIA		DIB.	AVP
		DESCRIPCIÓN	FECHA	POR	Va.Bo.				PROY.	
									REV.	
									COORD.	
									APROBADO	
									AGG	
									ESC.	
									S/E	
									ACOT.	
									SIN	

Planta Piloto
Campus 2

Zaragoza
Ingeniería Química

APROBADO POR

INTERCAMBIADOR DE DOBLE TUBO EA-01
EQUIPO MODULAR DE FLUJO DE FLUIDOS

PROYECTO No.:	No. PLANO:	REV.
IQ-01	A-2020-IQ-009	5

DIBUJO ELABORADO EN: IZTAPALAPA, CDMX ABR-2020 A-2020-IQ-007.DWG FAC-IN-001

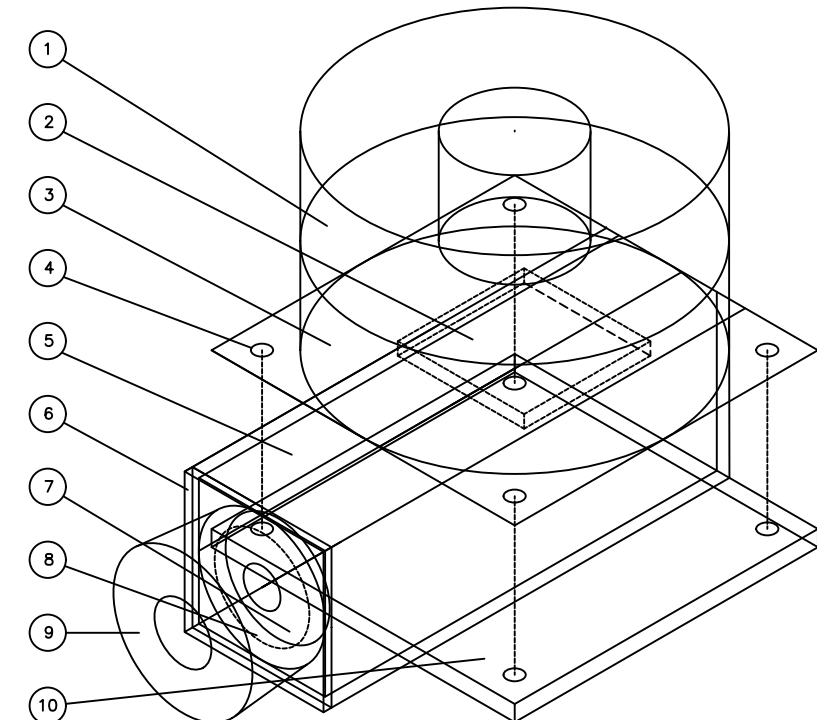
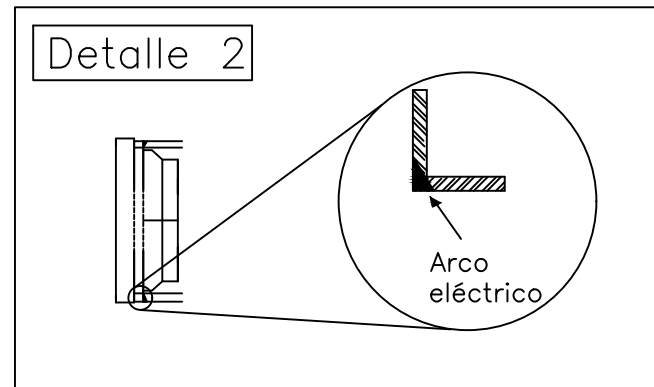
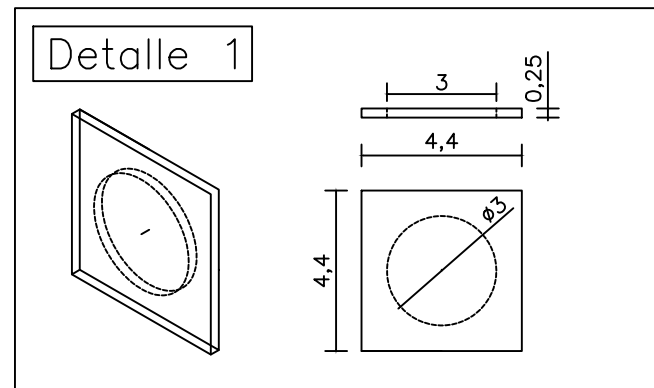
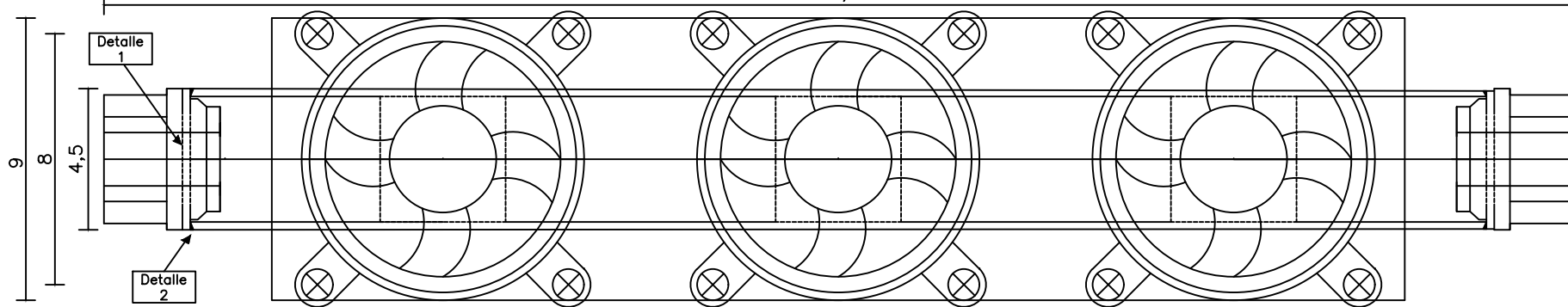
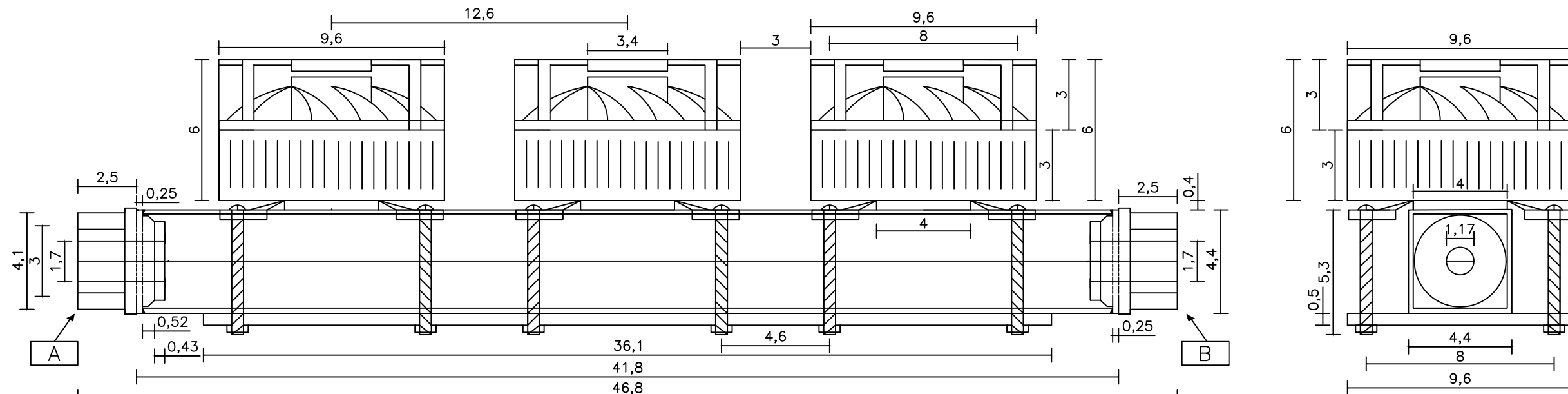


Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Intercambiador de Calor de Efecto Peltier



Intercambiador de Calor de Efecto Peltier

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.7



Nomenclatura	
Identificador	Nombre
1	Ventilador
2	Celda Peltier
3	Disipador
4	Perno
5	Conducto cuadrado
6	Tapa del conducto
7	Adaptador hembra
8	Empaque
9	Tuerca del adaptador
10	Soporte del intercambiador

NOTAS GENERALES

1. Dimensiones en cm.
2. Las tapas del conducto están soldadas a lo largo de las aristas de las mismas; en este plano sólo se señalaron las esquinas para favorecer la legibilidad.
3. Los amortiguadores tienen la función de no estrangular el conducto cuadrado a la hora de ajustar los disipadores a la base de acrílico.

Boquillas			
Identificador	Diámetro	Conexión	Servicio
A	1/2"	Hembra	Salida de agua fría
B	1/2"	Hembra	Entrada de agua caliente

Accesorios	
Cantidad	Nombre
3	Celda Pelrier
3	Disipador de aluminio
3	Ventilador de 12 V
1	Perfil cuadrado (Zintro TC-175 44mm)
2	Tapa de conducto (Zintro TC-175 4x4 cm)
12	Perno 3" 8"
12	Amortiguador para pernos
1	Soporte (Acrílico 9x41 cm)
2	Adaptador hembra 1/2"
2	Empaque 1/2"
2	Tuerca del adaptador

Datos de diseño	
Carga térmica	10,896 BTU/hr
Superficie total	7.44 in ²
Tipo	---
Presión de diseño	---
Temperatura de diseño	10 a 50°C
Factor de incrustación	---
Disipador	12 V
Aislante	No
Pintura	Primer
Soldadura arco eléctrico	120 V, Electrodo 2.5 mm
Soldadura arco metálico	No

Dimensiones	
Altura	11.5 cm
Longitud	47 cm
Anchura	10 cm
Arista del conducto	4 cm
Espesor del conducto	2 mm

Pesos	
Conducto	1.5 Kg
Disipador(3)	600 g
Celda(3)	150 g
Vacío	2.25 Kg
Lleno	3 Kg

Materiales	
Conducto	Zintro cuadrado Tc175
Pasta	Grasa de silicón
Celda	12706 12V 60W, cerámica

CP	FECHA	REVISIONES				NUM	DIBUJOS DE REFERENCIA		DIB.	AVP
		DESCRIPCION	FECHA	POR	Vo.Bo.					

PROY.	AVP	
REV.	AVP	
COORD.	AVP	
APROB.	AGG	
ESC.	S/E	ACOT. SIN



APROBADO POR	

INTERCAMBIADOR DE EFECTO PELTIER EA-02 EQUIPO MODULAR DE FLUJO DE FLUIDOS		
PROYECTO No.:	No. PLANO:	REV.
IQ-01	A-2020-IQ-010	3



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Memoria de Cálculo Térmico



Memoria de Cálculo Térmico

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.8



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Memoria de Cálculo Térmico



Intercambiador de calor de doble tubo

Las especificaciones del intercambiador de calor fueron obtenidas a partir de un algoritmo de 21 pasos. En el presente documento se presenta la novena y última iteración.

Datos

Fluido frío = Agua

Flujo másico del fluido frío (w) = 1323 lb/hr (10 L/min)

Temperatura inicial del fluido frío (t_1) = 24°C = 77°F

Temperatura final del fluido frío (t_2) = 30°C = 86 °F

Fluido caliente = Agua

Temperatura inicial del fluido caliente (T_1) = 80°C = 176.37°F

Temperatura final del fluido caliente (T_2) = 76°C = 167°F

Longitud total (L_{ef}) = 120 cm = 4 ft

Diámetro de tubo (tubo interior) (d_i) = 1"

Diámetro de ánulo (tubo exterior) (d_o) = 1 1/2"

Gravedad = 32.2 ft/s² = 417312000 ft/hr²

1. Primer paso

A partir del fluido frío:

$$\text{Temperatura media del fluido frío } (tm) = \frac{t_1+t_2}{2} = \frac{(77°F+86°F)}{2} = 81.5°F$$

$$\text{Calor específico del agua } (Cp_{H_2O}) @ 84.5°F = 0.986 \frac{BTU}{lb°F} \text{ (de tablas)}$$

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.8



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.



Memoria de Cálculo Térmico

$$\text{Calor } (Q) = wCp\Delta t = 1326 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} \left(0.986 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}^\circ\text{F}} \right) (86^\circ\text{F} - 77^\circ\text{F}) = 11740.302 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

A partir del fluido caliente:

$$\text{Temperatura media del fluido caliente } (T_m) = \frac{t_1+t_2}{2} = \frac{(176.37^\circ\text{F}+167^\circ\text{F})}{2} = 171.685^\circ\text{F}$$

$$\text{Calor específico del agua } (C_{p_{H_2O}}) @ 171.685^\circ\text{F} = 0.93 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}^\circ\text{F}} \text{ (de tablas)}$$

$$\text{Flujo másico del fluido caliente } (W) = \frac{Q}{Cp\Delta T} = \frac{11740.302 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}}{0.93 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}^\circ\text{F}} (176.37^\circ\text{F} - 167^\circ\text{F})} = 1347.28 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$$

2. Segundo paso

Diferencia de temperatura logarítmica media

$$LMTD_c = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \left[\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1} \right]} = \frac{(176.37^\circ\text{F} - 86^\circ\text{F}) - (167^\circ\text{F} - 77^\circ\text{F})}{\ln \left[\frac{176.37^\circ\text{F} - 86^\circ\text{F}}{167^\circ\text{F} - 77^\circ\text{F}} \right]} = 90.1848^\circ\text{F}$$

3. Tercer paso

Diámetro interior del tubo (d_i) = 1.049 in = 0.08742 ft (de catálogo)

Diámetro exterior del tubo (d_o) = 1.315 in = 0.1095 ft (de catálogo)

Diámetro interior del ánulo (D_i) = 1.61 in = 0.134 ft (de catálogo)

Diámetro equivalente para transferencia de calor

$$(D_e) = \frac{D_i^2 - d_o^2}{d_o} = \frac{(0.134 \text{ ft})^2 - (0.1095 \text{ ft})^2}{0.1095 \text{ ft}} = 0.05468 \text{ ft}$$

Diámetro equivalente para caída de presión

$$(D'_e) = D_i - d_o = 0.134 \text{ ft} - 0.1095 \text{ ft} = 0.02458 \text{ ft}$$

Área de flujo del tubo

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.8



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Memoria de Cálculo Térmico



$$(a_t) = \frac{\pi}{4} [d_i]^2 = \frac{\pi}{4} [0.08742 \text{ ft}]^2 = 0.006 \text{ ft}^2$$

Área de flujo del ánulo

$$(a_a) = \frac{\pi}{4} [D_i^2 - d_o^2] = \frac{\pi}{4} [(0.134 \text{ ft})^2 - (0.1095 \text{ ft})^2] = 0.0471 \text{ ft}^2$$

4. Cuarto paso

El fluido frío irá por el tubo

El fluido caliente irá por el ánulo

5. Quinto paso

$$\text{Masa velocidad en el tubo } (G_t) = \frac{w}{a_t} = \frac{1323 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}}{0.006 \text{ ft}^2} = 220435 \frac{\text{lb}}{\text{hr ft}^2}$$

6. Sexto paso

$$\text{Masa velocidad en el ánulo } (G_a) = \frac{W}{a_a} = \frac{1347.28 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}}{0.00471 \text{ ft}^2} = 286274 \frac{\text{lb}}{\text{hr ft}^2}$$

7. Séptimo paso (temperaturas calóricas)

Cuando los 2 fluidos son poco viscosos (<1cP) se pueden considerar las temperaturas calóricas como las temperaturas medias de los fluidos, en caso contrario se deben evaluar los coeficientes globales en la terminal caliente y en la fría para obtener K_c .

$$\therefore T_c = T_m \quad t_c = t_m$$

8. Octavo paso

A. Fluido frío (tubo) = Agua @ 81.5°F

$$\text{Viscosidad en el tubo } (\mu_t) = 0.852 \text{ cP} = 2.06184 \frac{\text{lb}}{\text{ft hr}} \text{ (de tablas)}$$

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.8



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Memoria de Cálculo Térmico



$$\text{Calor específico en el tubo } (Cp_t) = 0.986 \frac{BTU}{lb^\circ F} \text{ (de tablas)}$$

$$\text{Conductividad térmica en el tubo } (k_t) = 0.352 \frac{BTU}{hr ft^2^\circ F} \text{ (de tablas)}$$

$$\text{Gravedad específica en el tubo } (Spgr_t) = \frac{\delta_{sustancia}}{\delta_{agua @ 4^\circ C}} = \frac{62.2427 \frac{lb}{ft^3}}{62.4 \frac{lb}{ft^3}} = 0.997$$

$$\text{Densidad en el tubo } (\delta_t) = 62.2427 \frac{lb}{ft^3} \text{ (de tablas)}$$

B. Fluido caliente (ánulo) = Agua @ 171.685°F

$$\text{Viscosidad en el ánulo } (\mu_a) = 0.369 cP = 0.8928 \frac{lb}{ft hr} \text{ (de tablas)}$$

$$\text{Calor específico en el ánulo } (Cp_a) = 0.93 \frac{BTU}{lb^\circ F} \text{ (de tablas)}$$

$$\text{Conductividad térmica en el ánulo } (k_a) = 0.384 \frac{BTU}{hr ft^2^\circ F} \text{ (de tablas)}$$

$$\text{Gravedad específica en el ánulo } (Spgr_a) = \frac{\delta_{sustancia}}{\delta_{agua @ 4^\circ C}} = \frac{60.682 \frac{lb}{ft^3}}{62.4 \frac{lb}{ft^3}} = 0.972$$

$$\text{Densidad en el ánulo } (\delta_t) = 60.682 \frac{lb}{ft^3} \text{ (de tablas)}$$

9. Noveno paso

$$\text{Reynolds en el tubo } (\#Re_t) = \frac{(d_i)(G_t)}{\mu_t} = \frac{0.08742 ft \left(220435 \frac{lb}{hr ft^2} \right)}{2.06184 \frac{lb}{ft hr}} = 9345.89$$

$$\text{Pran en el tubo } (\#Pr_t) = \frac{(Cp_t)(\mu_t)}{k_t} = \frac{0.986 \frac{BTU}{lb^\circ F} \left(2.06184 \frac{lb}{hr ft} \right)}{0.352 \frac{BTU}{hr ft^\circ F}} = 5.7755$$

Coefficiente de convección interior referido al área interior

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.8



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.



Memoria de Cálculo Térmico

$$(h_i) = \frac{0.027k_t}{d_i} [\#Re_t]^{0.8} [\#Pr_t]^{\frac{1}{3}} = \frac{0.027 \left(0.325 \frac{BTU}{hr ft^{\circ}F} \right)}{0.08742 ft} [9345.89]^{0.8} [5.775]^{\frac{1}{3}} = 292.86 \frac{BTU}{hr ft^2 \circ F}$$

Coeficiente de convección interior referido al área exterior

$$(h'_{io}) = h_i \left[\frac{d_i}{d_o} \right] = 292.86 \frac{BTU}{hr ft^2 \circ F} \left[\frac{0.08742 ft}{0.10958 ft} \right] = 233.626 \frac{BTU}{hr ft^2 \circ F}$$

10. Décimo paso

$$\text{Reynolds en el ánulo } (\#Re_a) = \frac{(D_e)(G_a)}{\mu_a} = \frac{0.05468 ft \left(286274 \frac{lb}{hr ft^2} \right)}{0.89298 \frac{lb}{ft hr}} = 17530$$

$$\text{Pran en el ánulo } (\#Pr_a) = \frac{(Cp_a)(\mu_a)}{k_a} = \frac{0.93 \frac{BTU}{lb \circ F} \left(0.89298 \frac{lb}{hr ft} \right)}{0.384 \frac{BTU}{hr ft^{\circ}F}} = 2.16269$$

Coeficiente de convección exterior referido al área exterior

$$(h'_o) = \frac{0.027k_t}{D_e} [\#Re_a]^{0.8} [\#Pr_a]^{\frac{1}{3}} = \frac{0.027 \left(0.384 \frac{BTU}{hr ft^{\circ}F} \right)}{0.05468 ft} [17530]^{0.8} [2.162]^{\frac{1}{3}} = 608.89 \frac{BTU}{hr ft^2 \circ F}$$

11. Décimo primer paso

Temperatura de pared

$$(t_w) = t_c + \frac{h'_o}{h'_{io} + h'_o} [T_c - t_c]$$

$$(t_w) = 81.5^{\circ}F + \frac{608.897 \frac{BTU}{hr ft^2 \circ F}}{233.626 \frac{BTU}{hr ft^2 \circ F} + 608.897 \frac{BTU}{hr ft^2 \circ F}} [171.685^{\circ}F - 81.5^{\circ}F] = 146.677^{\circ}F$$

$$\text{Viscosidad del fluido del tubo (agua) } (\mu_{aw}) @ 146.77^{\circ}F = 1.08174 \frac{lb}{hr ft}$$

$$\text{Viscosidad del fluido del ánulo (agua) } (\mu_{aw}) @ 146.77^{\circ}F = 1.08174 \frac{lb}{hr ft}$$

Factor de corrección de viscosidad en el tubo a temperatura de pared

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.8



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Memoria de Cálculo Térmico



$$(\phi_t) = \left[\frac{\mu_t}{\mu_{tw}} \right]^{0.14} = \left[\frac{2.06184 \frac{lb}{hr ft}}{1.08174 \frac{lb}{hr ft}} \right]^{0.14} = 1.09451$$

Factor de corrección de viscosidad en el ánulo a temperatura de pared

$$(\phi_a) = \left[\frac{\mu_a}{\mu_{aw}} \right]^{0.14} = \left[\frac{0.89298 \frac{lb}{hr ft}}{1.08174 \frac{lb}{hr ft}} \right]^{0.14} = 0.97351$$

Coefficiente de convección interior referido al área exterior corregido

$$h_{io} = h'_{io}(\phi_t) = 233.626 \frac{BTU}{hr ft^2 \text{ } ^\circ F} (1.09451) = 255.706 \frac{BTU}{hr ft^2 \text{ } ^\circ F}$$

Coefficiente de convección exterior referido al área exterior corregido

$$h_o = h'_o(\phi_a) = 608.897 \frac{BTU}{hr ft^2 \text{ } ^\circ F} (0.97351) = 592.768 \frac{BTU}{hr ft^2 \text{ } ^\circ F}$$

12. Décimo segundo paso

Coefficiente de calor limpio

$$(U_c) = \frac{h_{io} \cdot h_o}{h_{io} + h_o} = \frac{255.706 \frac{BTU}{hr ft^2 \text{ } ^\circ F} \left(592.768 \frac{BTU}{hr ft^2 \text{ } ^\circ F} \right)}{255.706 \frac{BTU}{hr ft^2 \text{ } ^\circ F} + 592.768 \frac{BTU}{hr ft^2 \text{ } ^\circ F}} = 178.643 \frac{BTU}{hr ft^2 \text{ } ^\circ F}$$

13. Décimo tercer paso

Factor de incrustación (R_d) = $0.005 \frac{hr ft^2 \text{ } ^\circ F}{BTU}$ (propuesto)

Coefficiente global de diseño

$$(U_D) = \left[\frac{1}{U_c} + R_d \right]^{-1} = \left[\frac{1}{178.643 \frac{BTU}{hr ft^2 \text{ } ^\circ F}} + 0.005 \frac{hr ft^2 \text{ } ^\circ F}{BTU} \right]^{-1} = 94.3597 \frac{BTU}{hr ft^2 \text{ } ^\circ F}$$

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.8



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Memoria de Cálculo Térmico



14. Décimo cuarto paso

Área de transferencia de calor requerida

$$(A) = \frac{Q}{U_D(T_c - t_c)} = \frac{11740.3 \frac{BTU}{hr}}{94.3597 \frac{BTU}{hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ F} (171.685^\circ F - 81.5^\circ F)} = 1.37962 \text{ ft}^2$$

15. Décimo quinto paso

$$\text{Área de horquilla } (A_{hor}) = [\pi * d_o * L_{ef}] = [\pi * 0.1095 \text{ ft} * 4 \text{ ft}] = 1.37706 \text{ ft}^2$$

16. Décimo sexto paso

$$\text{Número de horquillas } (\#_{hor}) = \frac{A}{A_{hor}} = \frac{1.37962 \text{ ft}^2}{1.37706 \text{ ft}^2} = 1.001 \approx 1$$

17. Décimo séptimo paso

$$\text{Área instalada } (A_{inst}) = \#_{hor} * A_{hor} = 1 * 1.37706 \text{ ft}^2 = 1.137706 \text{ ft}^2$$

18. Décimo octavo paso

Coefficiente global de diseño final

$$(U_{Dfinal}) = \frac{Q}{[A_{inst}(T_c - t_c)]} = \frac{11740.3 \frac{BTU}{hr}}{[1.137706 \text{ ft}^2 (171.685^\circ F - 81.5^\circ F)]} = 94.5346 \frac{BTU}{hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}$$

19. Décimo noveno paso

Factor de incrustación final

$$(R_{dfinal}) = \left[\frac{1}{U_{Dfinal}} - \frac{1}{U_c} \right] = \left[\frac{1}{94.5346 \frac{BTU}{hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}} - \frac{1}{178.643 \frac{BTU}{hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}} \right] = 0.00498 \frac{hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}{BTU}$$

20. Vigésimo paso

Factor de fricción en el tubo

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.8



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Memoria de Cálculo Térmico



$$(f_{ft}) = 0.0035 + \frac{0.264}{\#Re_t^{0.42}} = 0.0035 + \frac{0.264}{9345.89^{0.42}} = 0.0091$$

Pérdidas de carga en el tubo

$$(\Delta f_t) = \frac{2 * f_{ft} * G_t^2 * L_{ef}}{g * \delta_t * d_i} = \frac{2(0.0091) \left(220435 \frac{lb}{hr \ ft^2} \right)^2 (4 \ ft)}{417312000 \frac{ft}{hr^2} \left(62.2427 \frac{lb}{ft^3} \right) (0.08742 \ ft)} = 0.02524 \ ft$$

Caída de presión en el tubo

$$(\Delta P_t) = \Delta f_t * \delta_t = 0.02524 \ ft \left(62.2427 \frac{lb}{ft^3} \right) = 1.57073 \frac{lb}{ft^2} = 0.01091 \ Psi$$

21. Vigésimo primer paso

Reynolds en el ánulo para caída de presión

$$(\#Re'_a) = \frac{D'_e G_a}{\mu_a} = \frac{0.02458 \ ft \left(286274 \frac{lb}{hr \ ft^2} \right)}{0.89298 \frac{lb}{hr \ ft}} = 7881.01$$

Factor de fricción en el ánulo

$$(f_a) = 0.0035 + \frac{0.264}{\#Re'_a^{0.42}} = 0.0035 + \frac{0.264}{7881.01^{0.42}} = 0.0096$$

Pérdidas de carga en el ánulo

$$(\Delta f_a) = \frac{2 * f_a * G_a^2 * L_{ef}}{g * \delta_a * D'_e} = \frac{2(0.0096) \left(286274 \frac{lb}{hr \ ft^2} \right)^2 (4 \ ft)}{417312000 \frac{ft}{hr^2} \left(60.682 \frac{lb}{ft^3} \right) (0.02458 \ ft)} = 0.1662 \ ft$$

Caída de presión en el ánulo

$$(\Delta P_a) = \Delta f_a * \delta_a = 0.1662 \ ft \left(60.682 \frac{lb}{ft^3} \right) = 10.0894 \frac{lb}{ft^2} = 0.07007 \ Psi$$

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.8



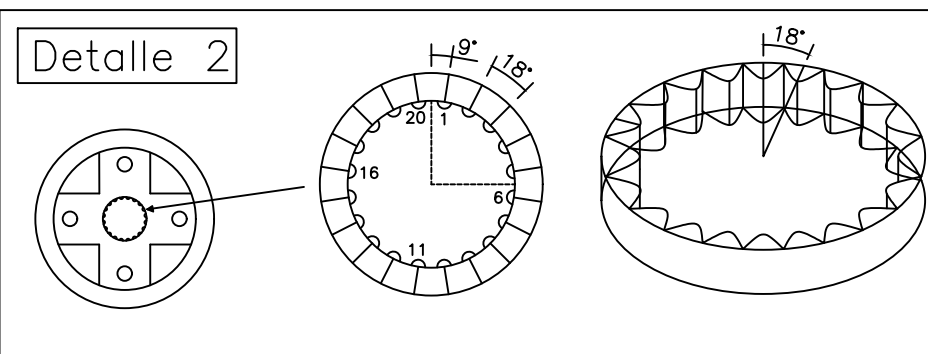
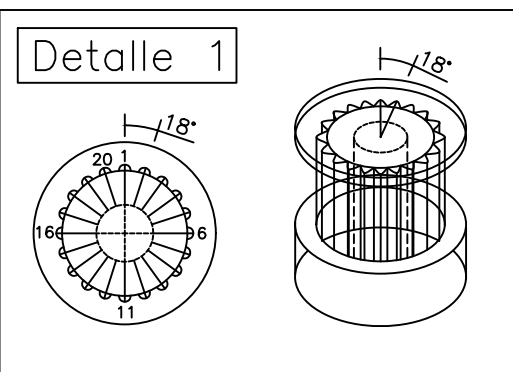
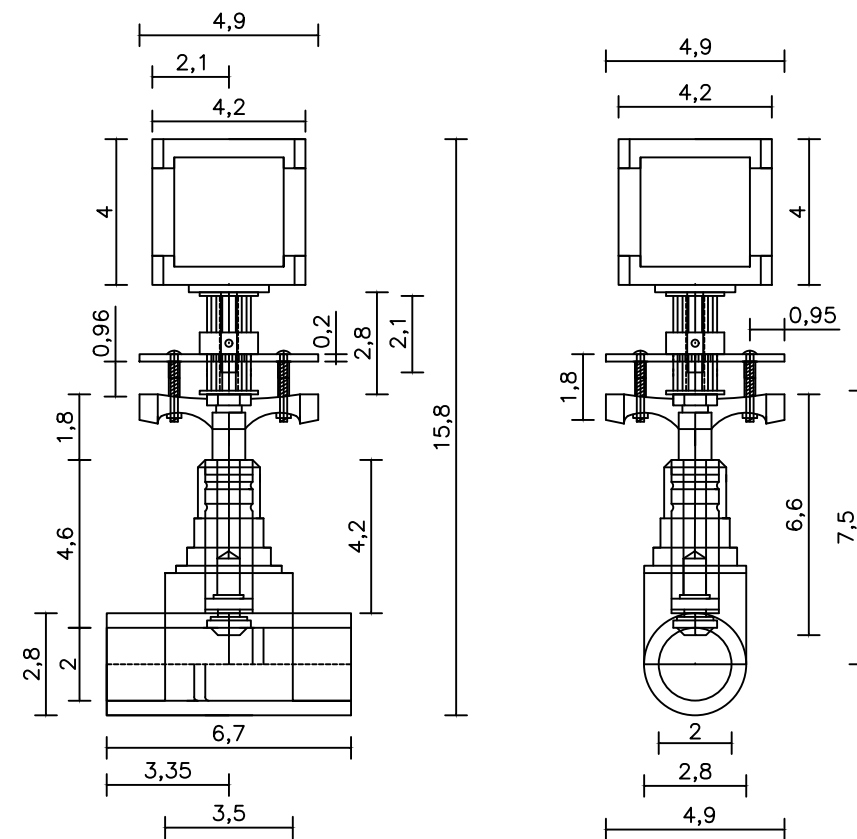
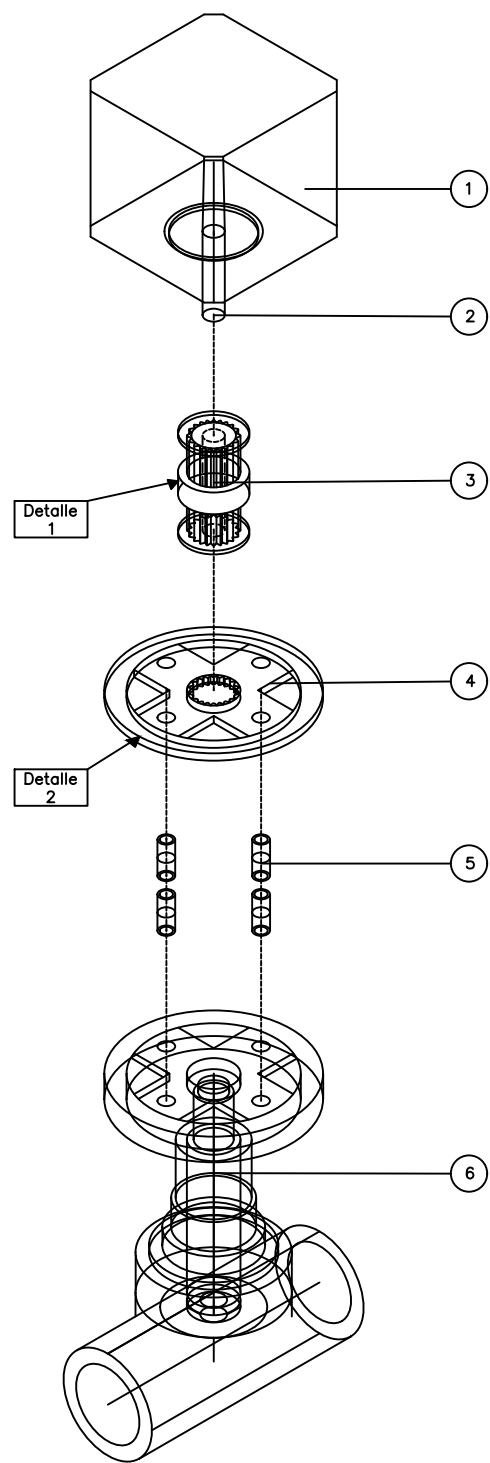
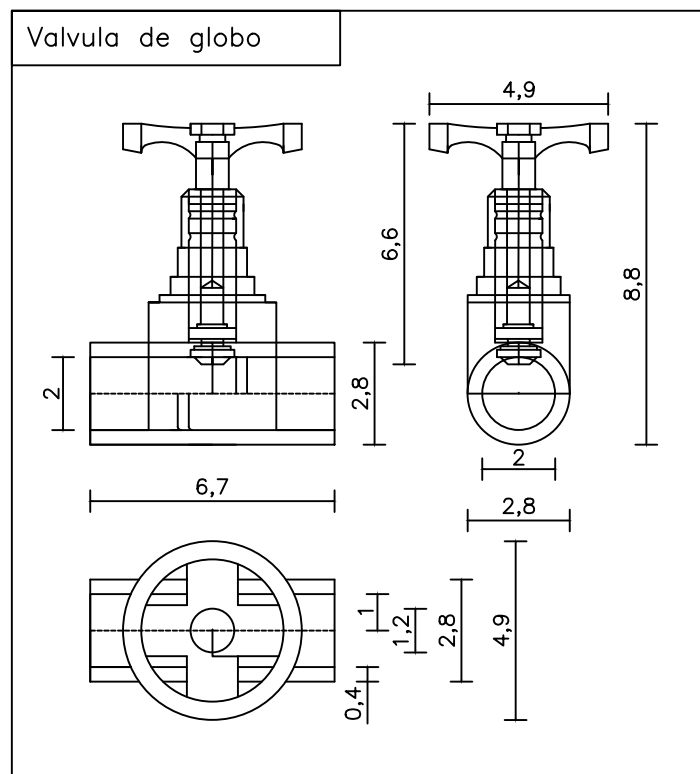
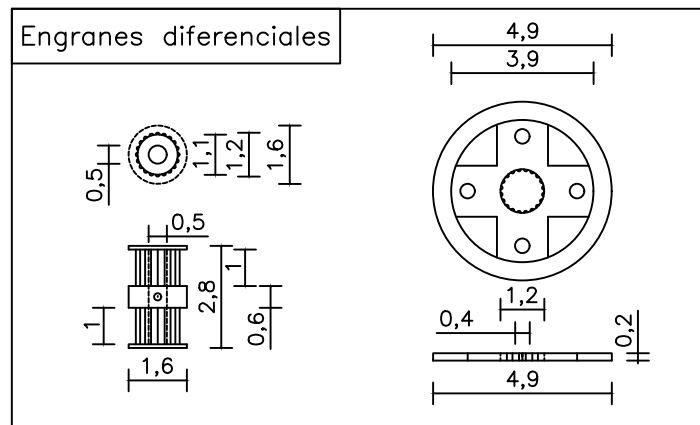
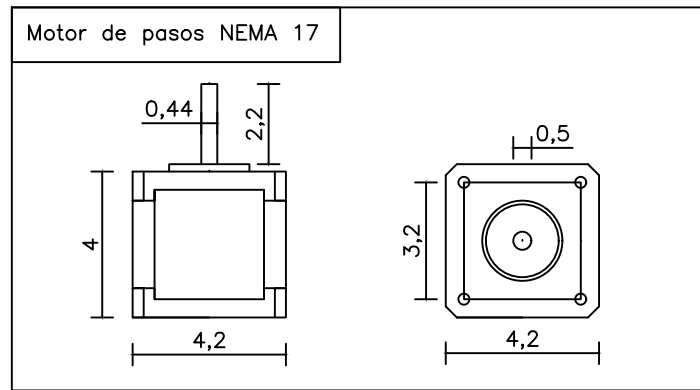
Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Diseño de Válvulas de Control



Diseño de Válvulas de Control

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.9



NOTAS GENERALES

1. Dimensiones en cm.
2. El engrane concéntrico está fijado al manubrio de la válvula de globo con tornillos. Entre el engrane y el manubrio se colocaron amortiguadores de goma.
3. El engrane concéntrico se desplaza verticalmente ± 1 mm sobre la polea de aluminio a medida que se cierra o abre la válvula, motivo por el cual es necesario lubricar dicha intersección de manera regular.

Accesorios	
Cantidad	Nombre
1	Motor de pasos NEMA 17
1	Polea dentada de aluminio
1	Engrane concéntrico ajustable
4	Amortiguadores de goma
1	Válvula de globo 20 mm
4	Tornillos y tuercas

Nomenclatura	
Identificador	Nombre
1	Estator del motor de pasos
2	Semieje del motor de pasos
3	Polea de aluminio
4	Engrane concéntrico
5	Amortiguadores de goma
6	Válvula de globo

Características Generales	
Cv	0.25 Gpm @ 1 Psi
Actuador	Motor Nema 17 5kg
Caída de presión	--
Obturador	Redondo
Apertura	Isoporcentual
Respuesta	500 ms
By-pass	SI
Sensibilidad	$\pm 0.1^\circ\text{C}$
Impermeabilidad	---
Corrosividad	---
Incendiabilidad	---

Dimensiones	
Altura	135 cm
Longitud	280 cm
Anchura	70 cm
Peso	Tubo

Materiales	
Válvula	Tuboplus
Polea	Aluminio
Engrane	Acero

CP	FECHA	REVISIONES				NUM	DIBUJOS DE REFERENCIA		DIB.	AVP
		DESCRIPCION	FECHA	POR	Vo.Bo.				PROY.	AVP
									REV.	AVP
									COORD.	AVP
									APROB.	AGG
									ESC.	S/E

ACOT.	SIN



APROBADO POR	

DISEÑO DE VÁLVULAS DE CONTROL CV EQUIPO MODULAR DE FLUJO DE FLUIDOS		
PROYECTO No.:	No. PLANO:	REV.
IQ-01	A-2020-IQ-011	8



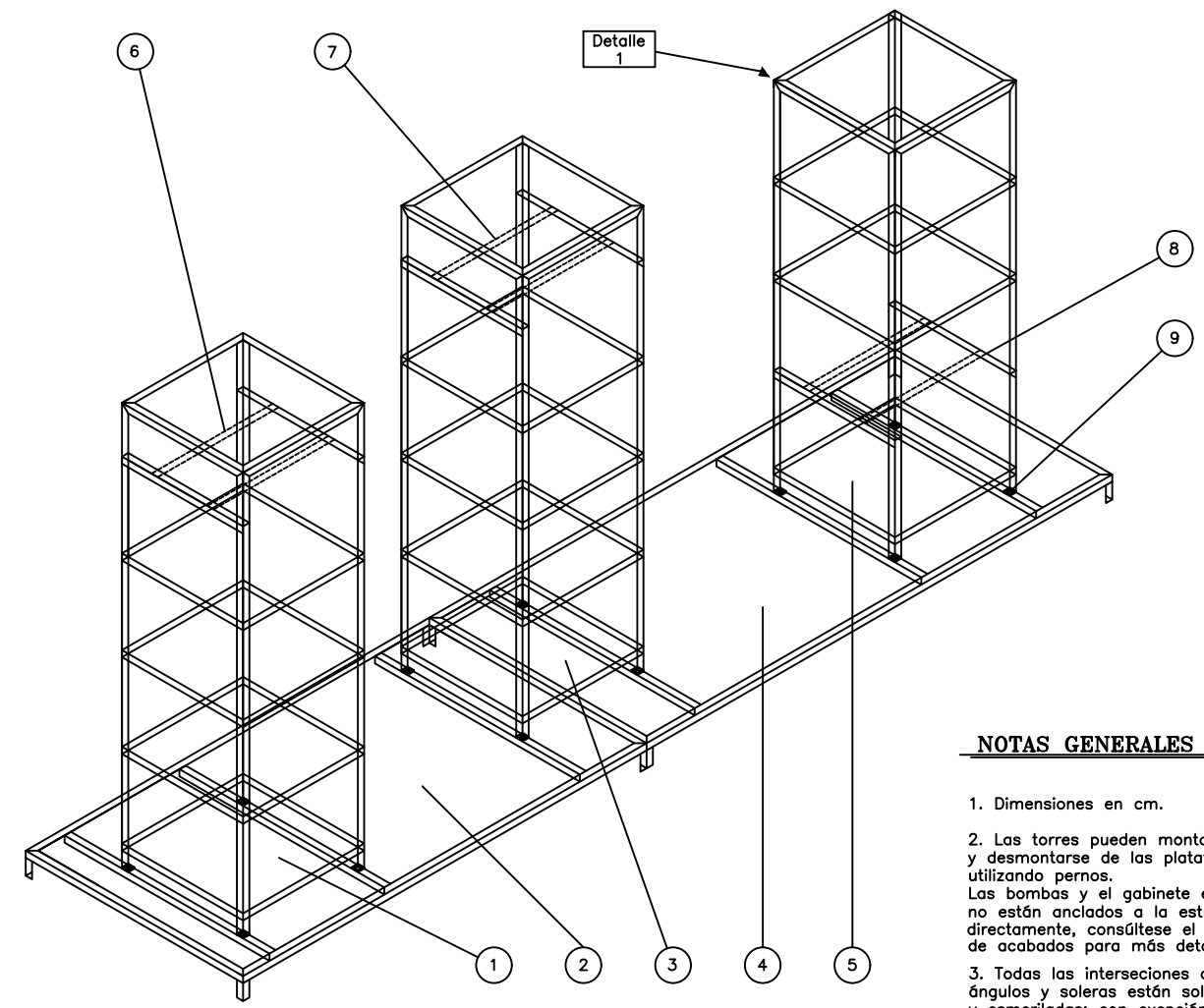
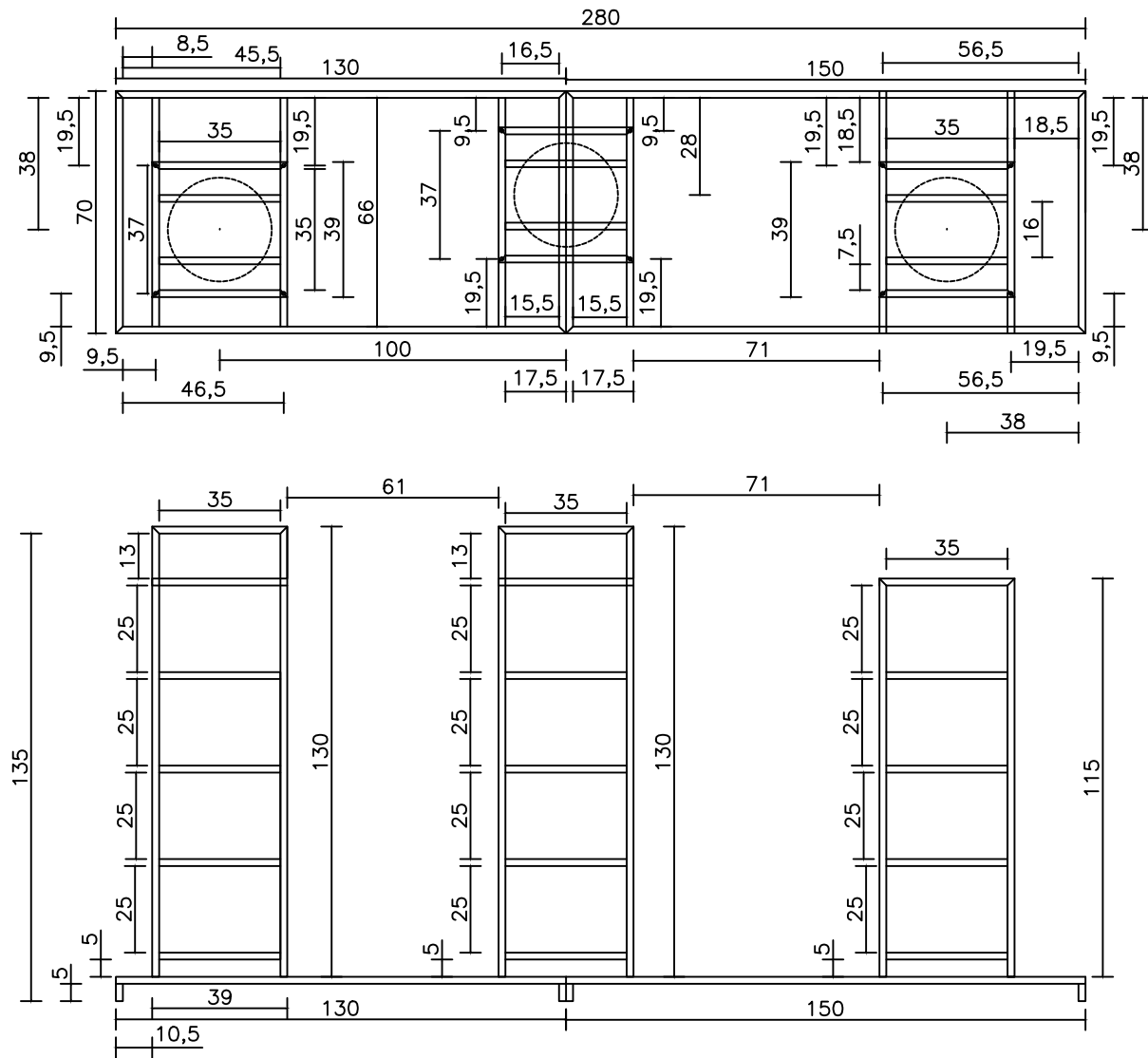
Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Plano de Estructuras



Plano de Estructuras

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.10



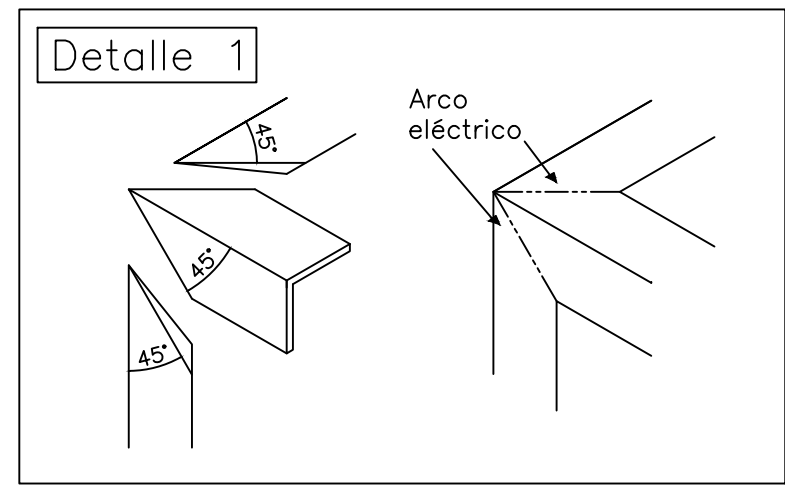
NOTAS GENERALES

1. Dimensiones en cm.
2. Las torres pueden montarse y desmontarse de las plataformas utilizando pernos. Las bombas y el gabinete eléctrico no están anclados a la estructura directamente, consúltese el plano de acabados para más detalles.
3. Todas las intersecciones de ángulos y soleras están soldadas y esmeriladas; con excepción de la delimitación entre las 2 plataformas.

Materiales totales	
Cantidad	Nombre
6	Ángulo de acero 1/2" x 3/4" (6m)
3	Solera de acero 1/2" x 3/4" (6m)
20	Pernos

Nomenclatura	
Identificador	Nombre
1	Torre del recipiente de alimentación
2	Plataforma pequeña
3	Torre del depósito de agua caliente
4	Plataforma grande
5	Torre del recipiente de salida
6	Soporte del recipiente de alimentación
7	Soporte del depósito de agua caliente
8	Soporte del recipiente de salida
9	Perno de anclaje

Características Generales	
Superficie total	1.96 m ²
Esfuerzo normal	---
Esfuerzo máximo	---
Soldadura	120 V. Electrodo 2.5mm
Esmerilado	Plano
Anclaje a la red de tierras	No
Pintura	Primer / Acrílica
Soporte de tuberías	Sí
Impermeabilidad	Oxidable
Corrosividad	---
Incendiabilidad	No
Dimensiones	
Altura máxima	135 cm
Longitud máxima	280 cm
Anchura máxima	70 cm
Peso	Tubo
Materiales	
Ángulo	Acero 1/2" x 3/4"
Solera	Acero 1/2" x 3/4"
Accesorios	Acero inoxidable



Plataforma pequeña	
Dimensiones	
Longitud	130 cm
Altitud	5 cm
Anchura	70 cm
Peso	Tubo
Materiales	
Ángulo	Acero 1/2" x 3/4" 6.3 m
Solera	Acero 1/2" x 3/4" -- m
Accesorios	Acero inoxidable

Plataforma grande	
Dimensiones	
Longitud	150 cm
Altitud	5 cm
Anchura	70 cm
Peso	Tubo
Materiales	
Ángulo	Acero 1/2" x 3/4" 6.7 m
Solera	Acero 1/2" x 3/4" --
Accesorios	Acero inoxidable

Torre del recipiente de Alimentación	
Dimensiones	
Longitud	39 cm
Altitud	130 cm
Anchura	39 cm
Peso	Tubo
Materiales	
Ángulo	Acero 1/2" x 3/4" 7.3 m
Solera	Acero 1/2" x 3/4" 6.3 m
Accesorios	Acero inoxidable

Torre del depósito de agua caliente	
Dimensiones	
Longitud	39 cm
Altitud	130 cm
Anchura	39 cm
Peso	Tubo
Materiales	
Ángulo	Acero 1/2" x 3/4" 7.3 m
Solera	Acero 1/2" x 3/4" 6.3 m
Accesorios	Acero inoxidable

Torre del recipiente de Salida	
Dimensiones	
Longitud	39 cm
Altitud	115 cm
Anchura	39 cm
Peso	Tubo
Materiales	
Ángulo	Acero 1/2" x 3/4" 6.7 m
Solera	Acero 1/2" x 3/4" 5.1 m
Accesorios	Acero inoxidable

C/P		FECHA		REVISIONES				NUM		DIBUJOS DE REFERENCIA		DIB.		DIBUJO ELABORADO EN: IZTAPALAPA, CDMX		ABR-2020		APROBADO POR		PROYECTO No.: IQ-01		No. PLANO: A-2020-IQ-012		REV.		
		MCA		DESCRIPCION	FECHA	POR	Vo.Bo.			Plano de Acabados	A-2020-IQ-016.DWG	AVP														

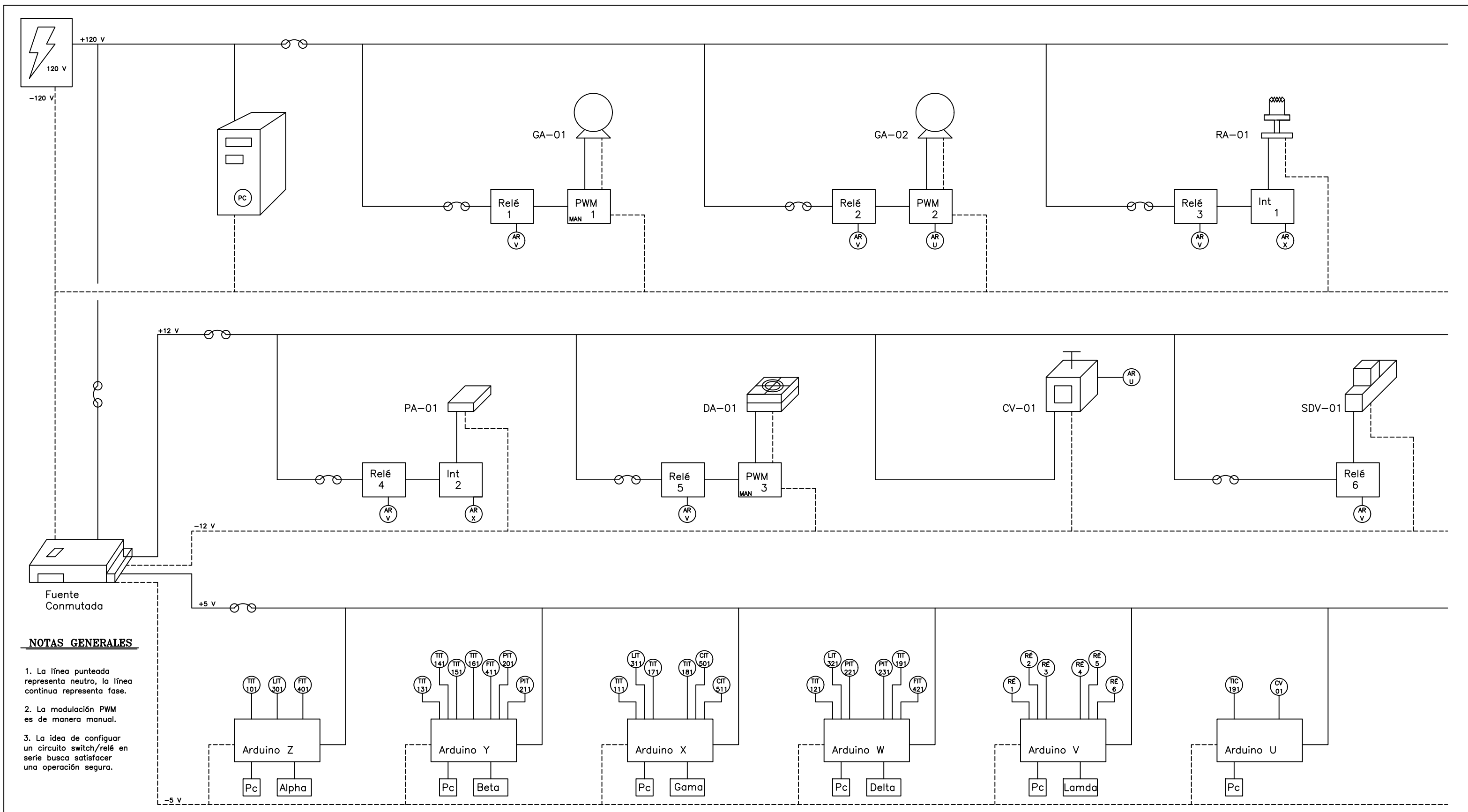


Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Diagrama Unifilar Eléctrico



Diagrama Unifilar Eléctrico

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.11



NOTAS GENERALES

1. La línea punteada representa neutro, la línea continua representa fase.
2. La modulación PWM es de manera manual.
3. La idea de configurar un circuito switch/relé en serie busca satisfacer una operación segura.

CP	FECHA	REVISIONES				NUM	DIBUJOS DE REFERENCIA		DIB.	AVP
		DESCRIPCION	FECHA	POR	Vo.Bo.		Plano de Notas Generales	A-2020-IQ-004.DWG	PROY.	AVP
									REV.	AVP
									COORD.	AVP
									APROBADO	AGG
									ESC.	S/E
									ACOT.	SIN



APROBADO POR	

DIAGRAMA UNIFILAR ELÉCTRICO EQUIPO MODULAR DE FLUJO DE FLUIDOS		
PROYECTO No.:	No. PLANO:	REV.
IQ-01	A-2020-IQ-013	5
A-2020-IQ-011.DWG FAC-IN-001		



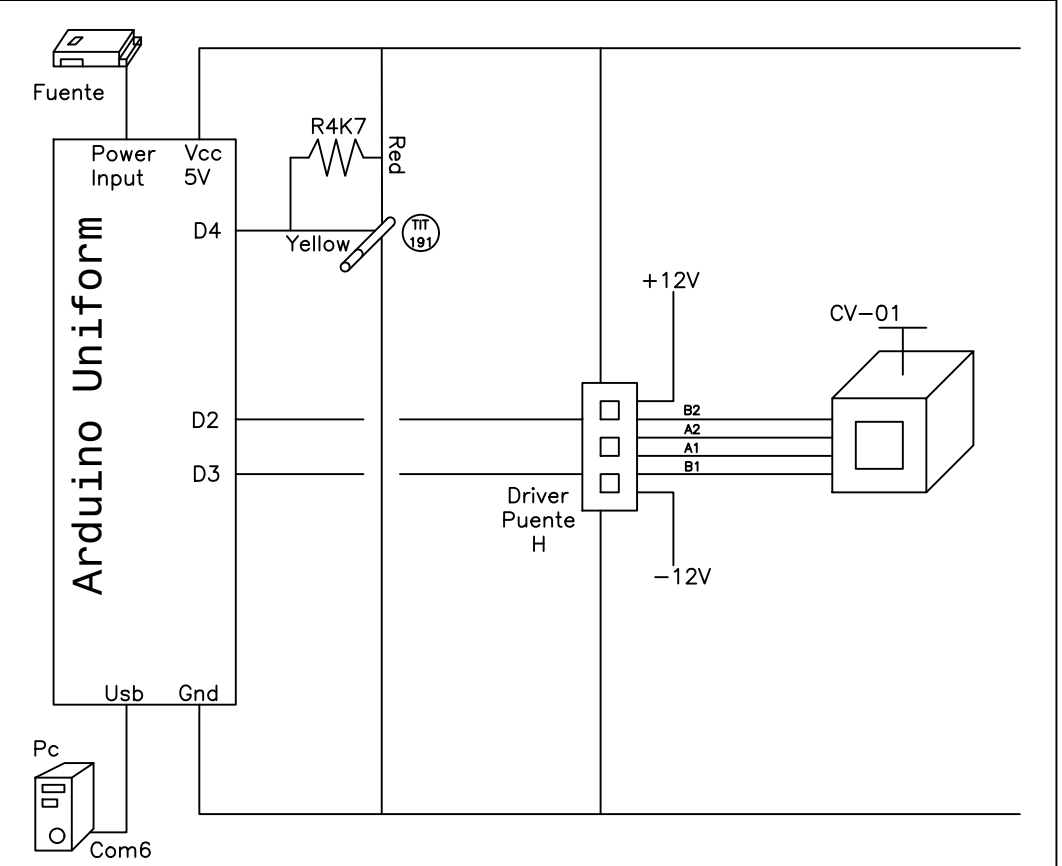
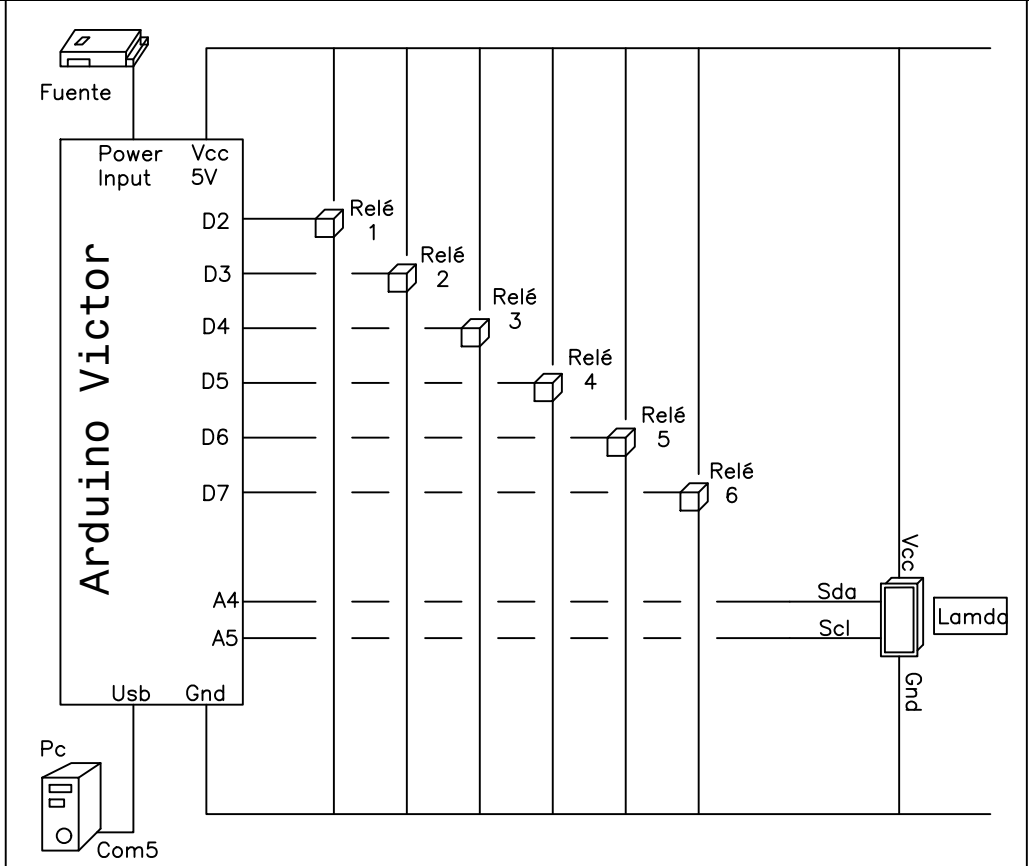
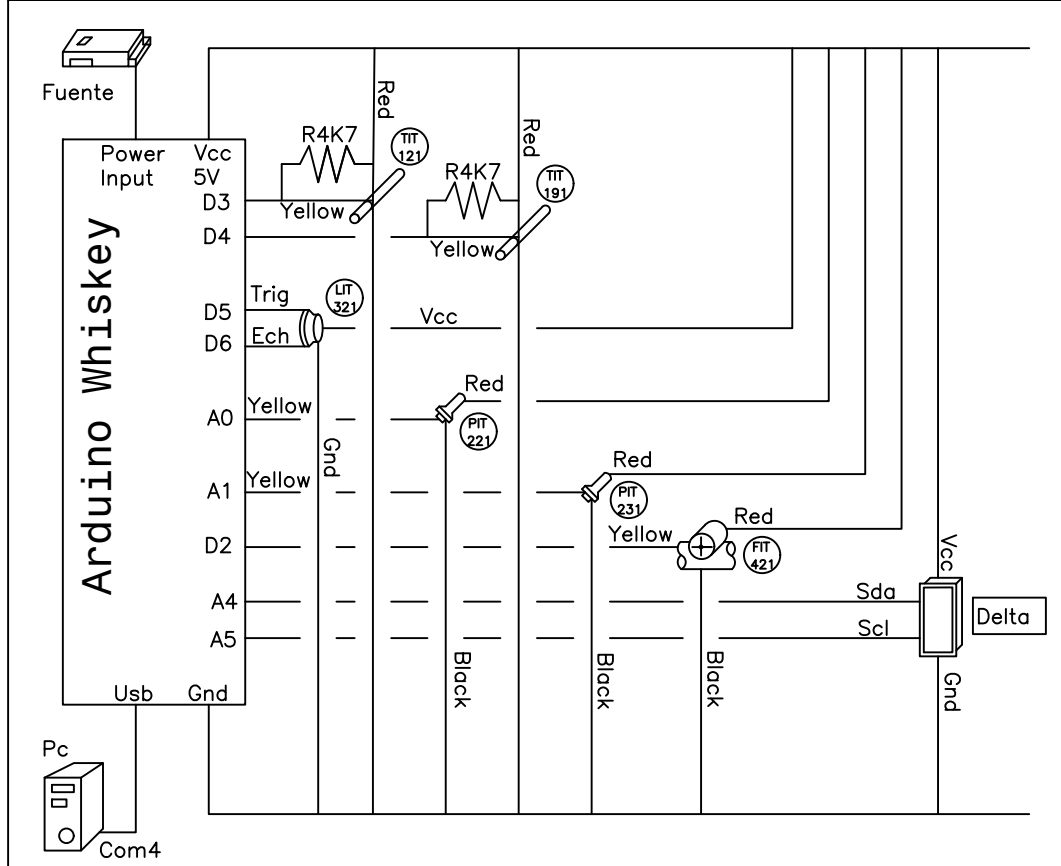
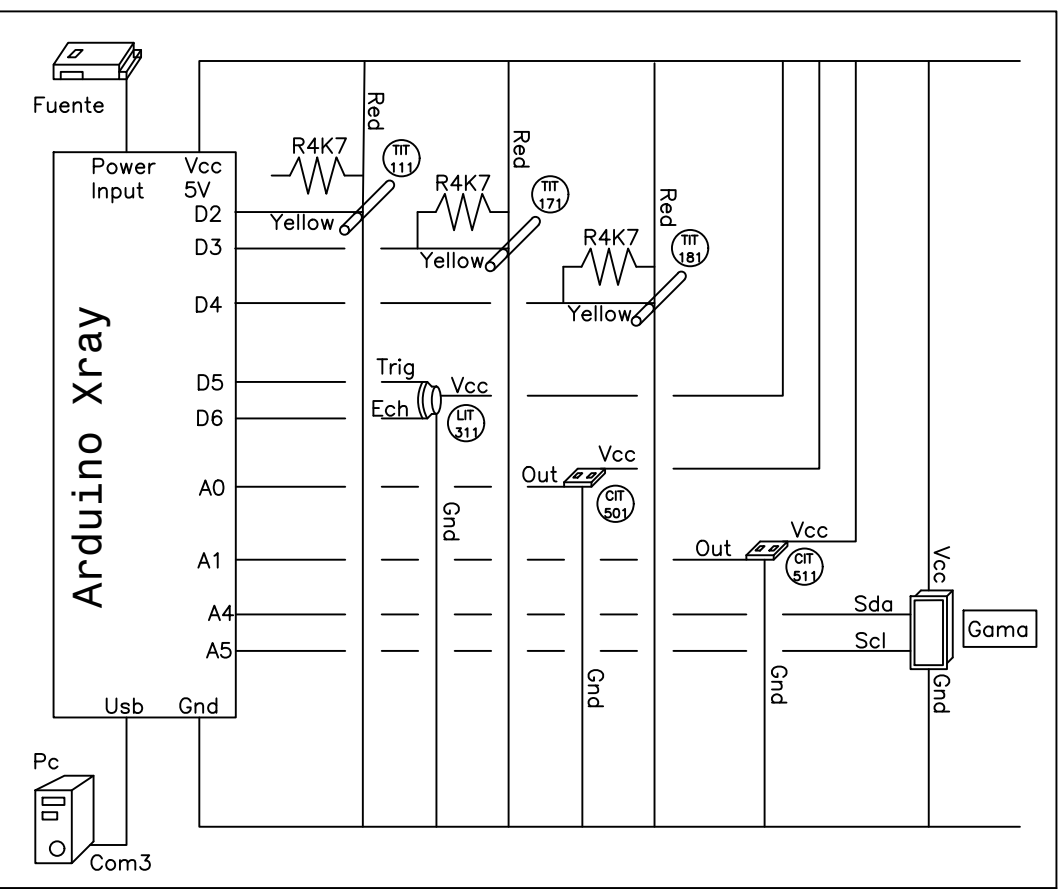
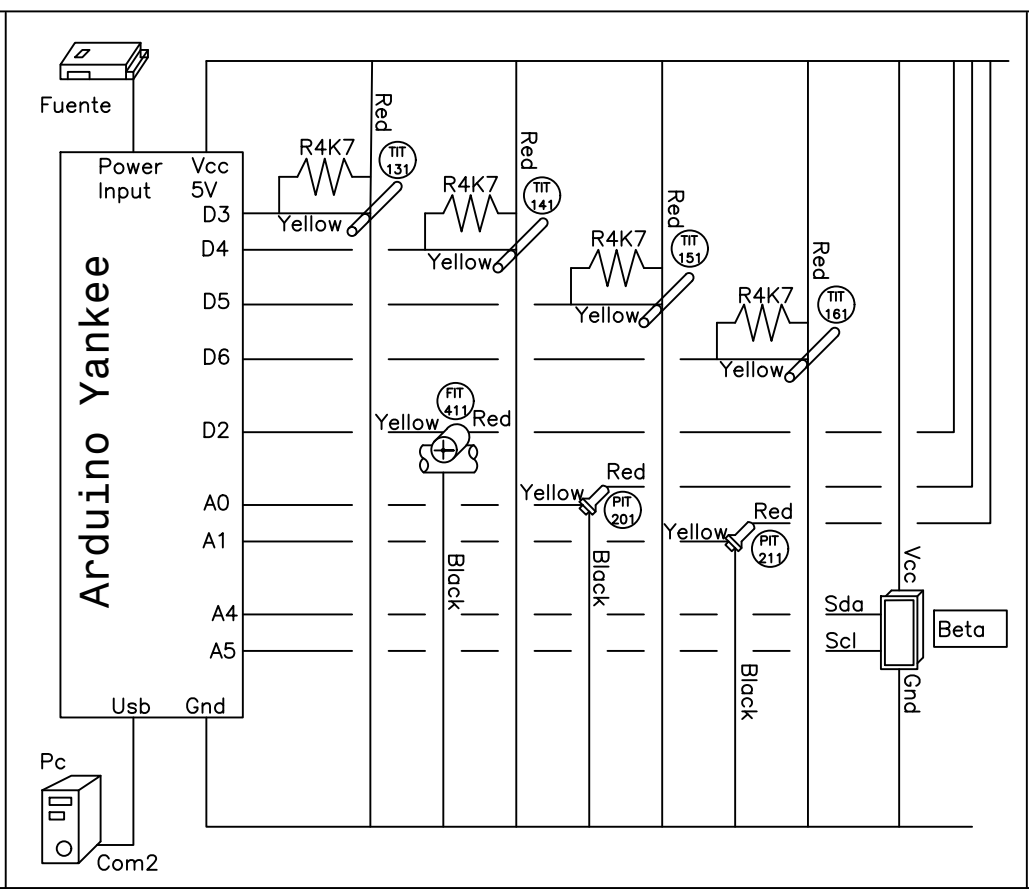
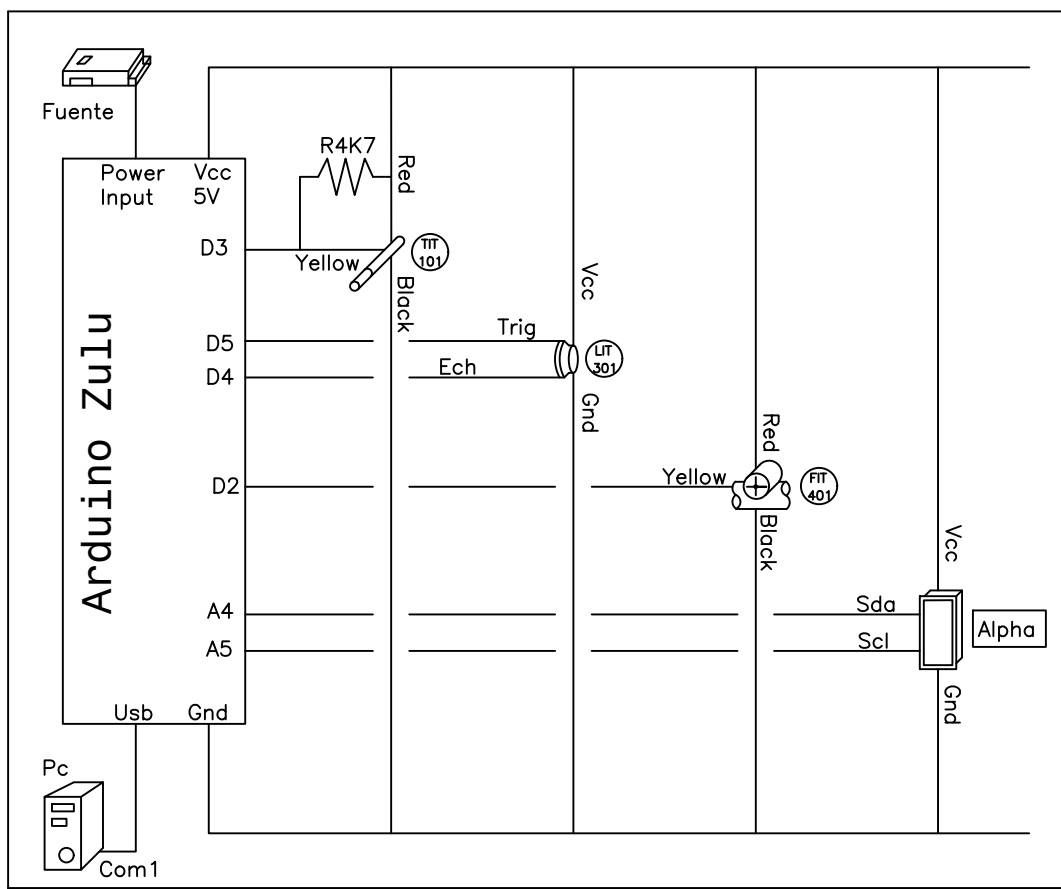
Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Diagrama Unifilar Electrónico




Diagrama Unifilar Electrónico


Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.12



CP	FECHA	REVISIONES				NUM	DIBUJOS DE REFERENCIA		DIB.	AVP
		DESCRIPCION	FECHA	POR	Vo.Bo.					
							Plano de Notas Generales	A-2020-IQ-004.DWG	PROY.	AVP
									REV.	AVP
									COORD.	AVP
									APROBADO	AGG
									ESC.	S/E
									ACOT.	SIN



Planta Piloto
Campus 2



Zaragoza
Ingeniería Química

APROBADO POR

--	--

DIAGRAMA UNIFILAR ELECTRÓNICO
EQUIPO MODULAR DE FLUJO DE FLUIDOS

PROYECTO No.:	No. PLANO:	REV.
IQ-01	A-2020-IQ-014	1

A-2020-IQ-012.DWG FAC-IN-001

DIBUJO ELABORADO EN: IZTAPALAPA, CDMX ABR-2020

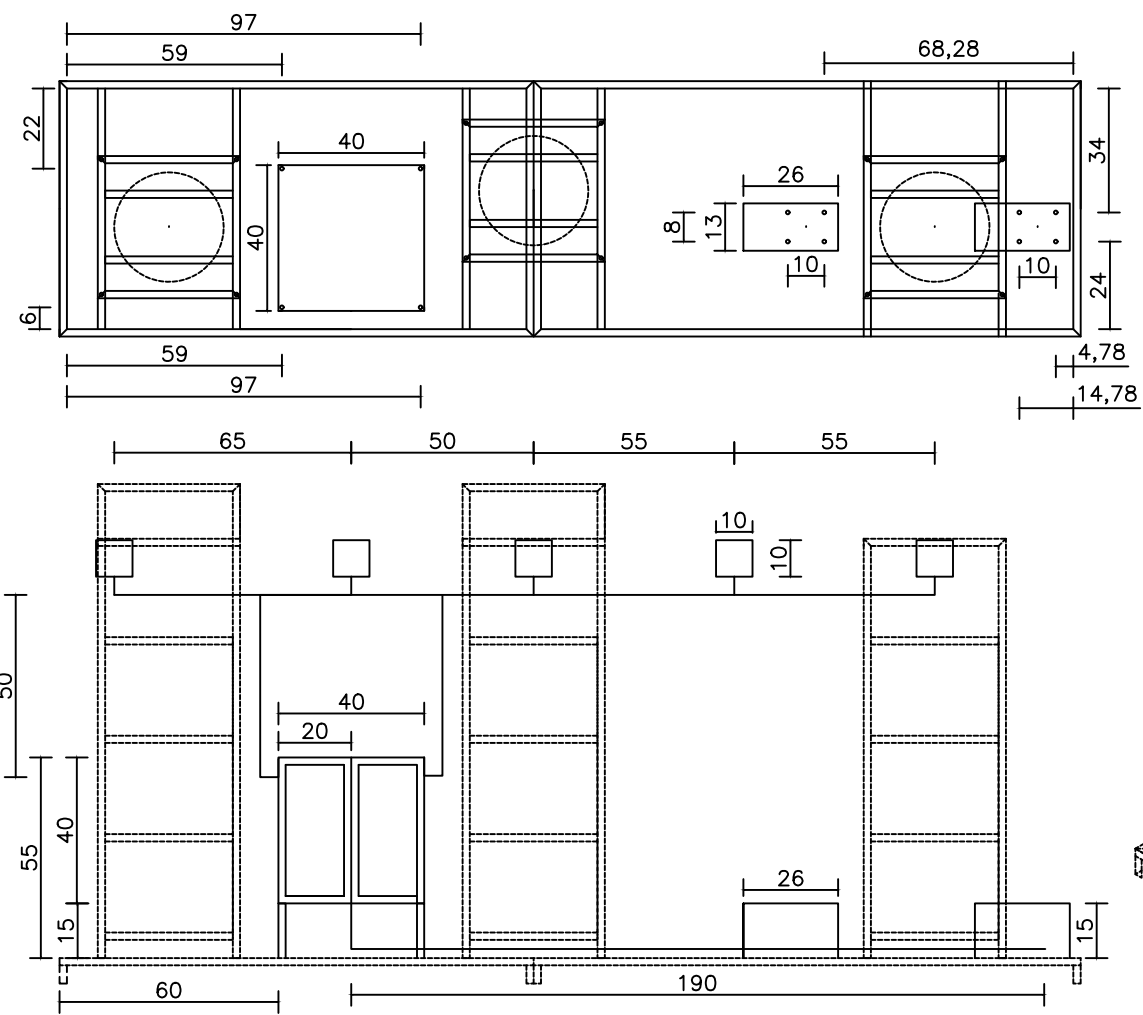


Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Plano de Distribución Eléctrica y Electrónica



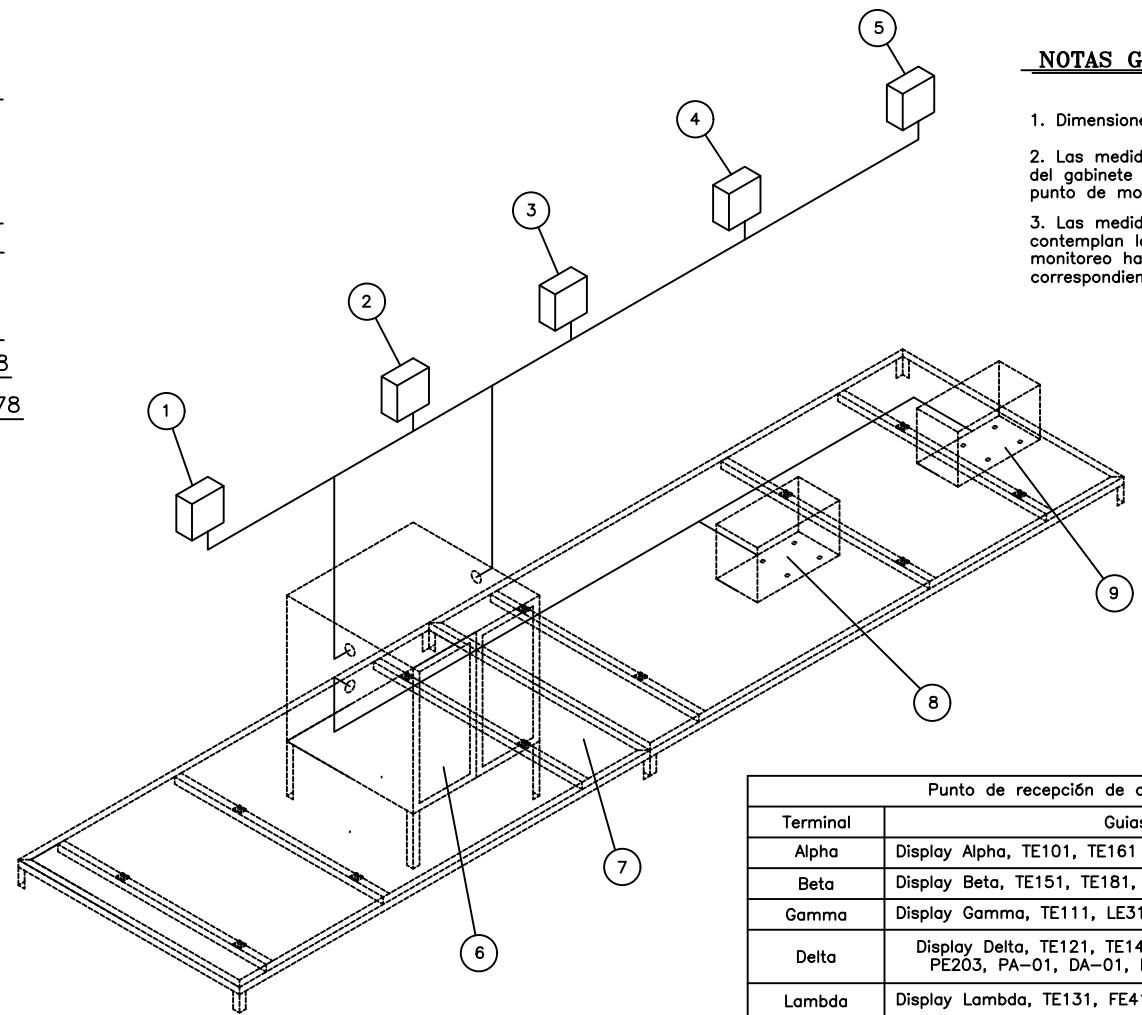
Plano de Distribución Eléctrica y Electrónica

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.13



NOTAS GENERALES

1. Dimensiones en cm.
2. Las medidas de las guías van del gabinete de control hacia el punto de monitoreo de conveniencia.
3. Las medidas de las guías ya contemplan la distancia del punto de monitoreo hacia el elemento primario correspondiente.



Punto de recepción de cables	
Terminal	Guías
Alpha	Display Alpha, TE101, TE161 LE301, FE401, SDV
Beta	Display Beta, TE151, TE181, PE201, PE211, CV
Gamma	Display Gamma, TE111, LE311, RA-01, CE501
Delta	Display Delta, TE121, TE141, TE171, TE191, PE202, PE203, PA-01, DA-01, FE412, LE321, CE511
Lambda	Display Lambda, TE131, FE411
Bombas	GA-01, GA-02

Nomenclatura	
Identificador	Nombre
1	Puerto de monitoreo "Alpha"
2	Puerto de monitoreo "Lambda"
3	Puerto de monitoreo "Gamma"
4	Puerto de monitoreo "Beta"
5	Puerto de monitoreo "Delta"
6	Gabinete de control
7	Plataforma de montaje
8	Bomba de servicio GA-01
9	Bomba de proceso GA-02

Materiales	
Cantidad	Nombre
7 m	Cable uso rudo #17
8 m	Cable #20
77 m	Dupond rojo
77 m	Dupond negro
30 m	Dupond amarillo
44 m	Dupond verde
29 m	Dupond azul
5	Chalupa cuadrada
3.25 m	Conduit 1/2"
5	Conduit Tee 1/2"
4	Conduite Codo 1/2"
??	Conduit Cople 1/2"
7	Conduit Conector 1/2"

GUIAS																																			
Cable/E. P.	TE 101	TE 111	TE 121	TE 131	TE 141	TE 151	TE 161	TE 171	TE 181	TE 191	PE 201	PE 211	PE 221	PE 231	LE 301	LE 311	LE 321	FE 401	FE 411	FE 421	CE 501	CE 511	GA 01	GA 02	RA 01	PA 01	DA 01	SDV	CV	Alpha	Beta	Gamma	Delta	Lambda	
Dupond rojo	3 m	3 m	4 m	2 m	4 m	2 m	2 m	4 m	2 m	4 m	3 m	3 m	4 m	4 m	2 m	3 m	4 m	2 m	2 m	4 m	3 m	4 m	---	---	---	---	---	---	3 m	2 m	2 m	1 m	4 m	1 m	
Dupond negro	3 m	3 m	4 m	2 m	4 m	2 m	2 m	4 m	2 m	4 m	3 m	3 m	4 m	4 m	2 m	3 m	4 m	2 m	2 m	4 m	3 m	4 m	---	---	---	---	---	---	3 m	2 m	2 m	1 m	4 m	1 m	
Dupond amarillo	3 m	3 m	4 m	2 m	4 m	2 m	2 m	4 m	2 m	4 m	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Dupond verde	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	3 m	3 m	4 m	4 m	2 m	3 m	4 m	2 m	2 m	4 m	---	---	---	---	---	---	---	---	3 m	2 m	2 m	1 m	4 m	1 m	
Dupond azul	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	2 m	3 m	4 m	---	---	---	3 m	4 m	---	---	---	---	---	---	3 m	2 m	2 m	1 m	4 m	1 m	
Uso rudo #17	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	2 m	2 m	3 m	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
Duplex #20	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	4 m	4 m	2 m	---	---	---	---	---	---	

CP	FECHA	REVISIONES				NUM	DIBUJOS DE REFERENCIA		DIB.	AVP	 Planta Piloto Campus 2	 Zaragoza Ingeniería Química	APROBADO POR		DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA/ELECTRÓNICA EQUIPO MODULAR DE FLUJO DE FLUIDOS
MCA	DESCRIPCIÓN	FECHA	POR	Vo.Bo.	Plano de Estructuras	A-2020-IQ-012.DWG	PROY.	AVP							
					Plano de Acabados <th>A-2020-IQ-016.DWG</th> <td>REV.</td> <td>AVP</td> <td></td> <td></td>	A-2020-IQ-016.DWG	REV.	AVP							
							COORD.	AVP							
							APROB.	AGG							
							ESC.	S/E	ACOT.	SIN					

DIBUJO ELABORADO EN: IZTAPALAPA, CDMX ABR-2020



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.

Plano de Acabados

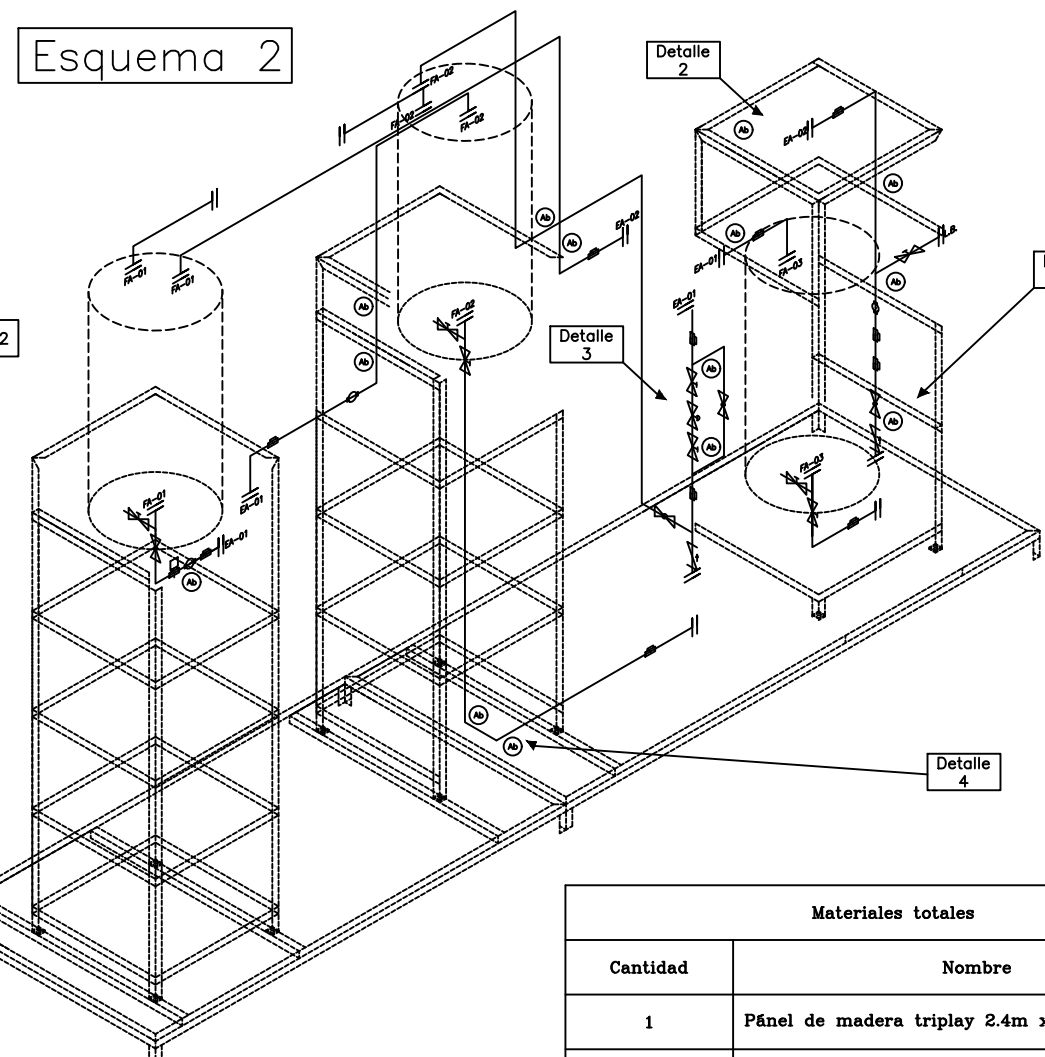
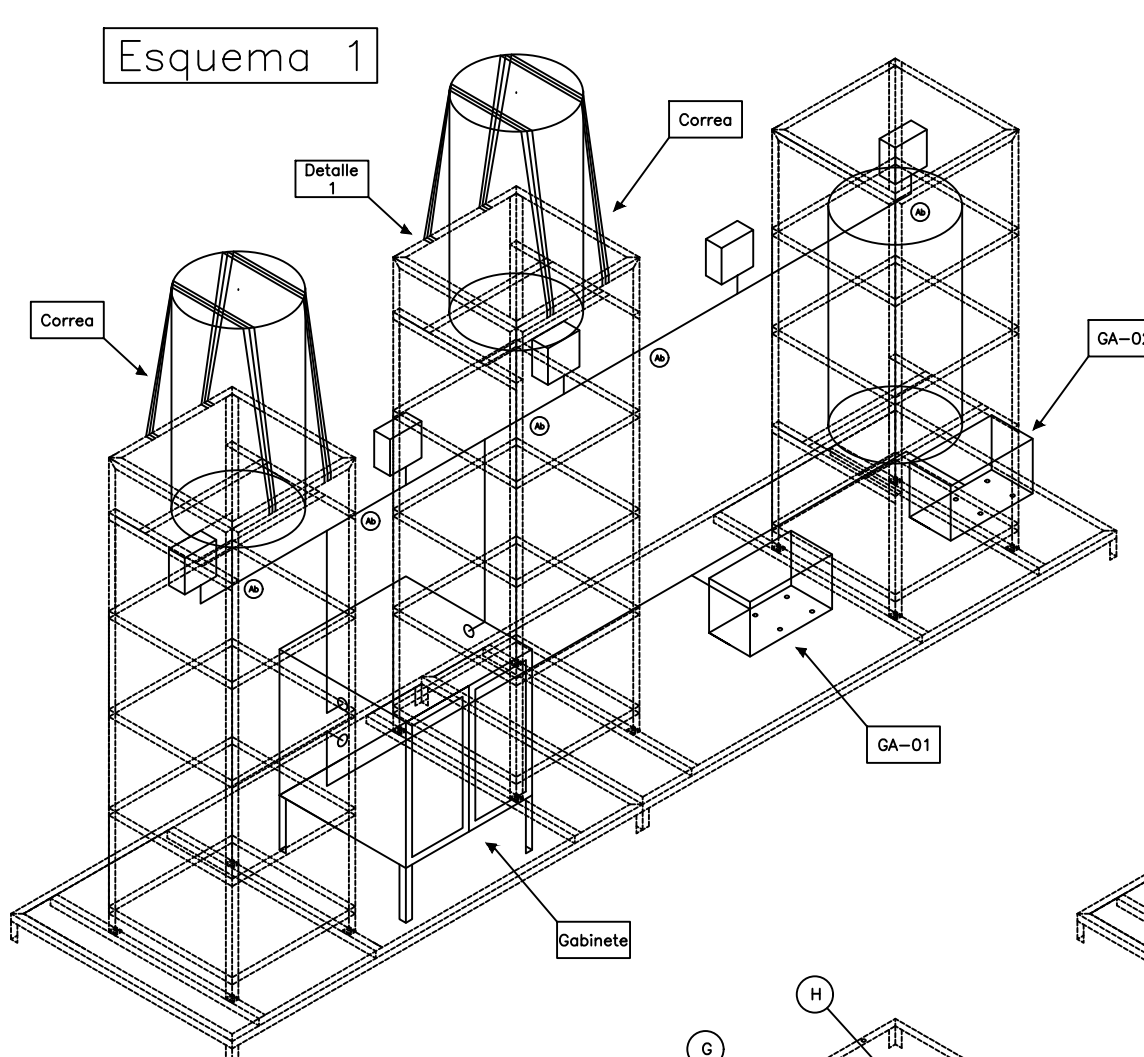


Plano de Acabados

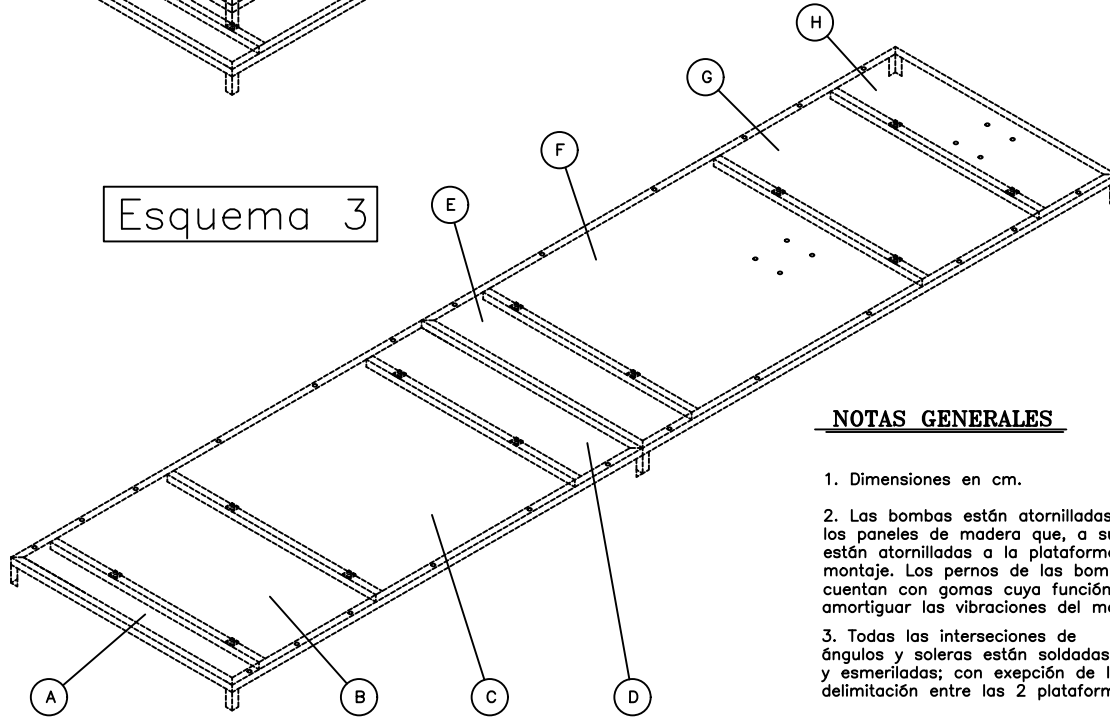
Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Junio 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	3.14

Esquema 1

Esquema 2



Esquema 3



NOTAS GENERALES

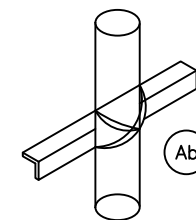
1. Dimensiones en cm.
2. Las bombas están atornilladas a los paneles de madera que, a su vez, están atornilladas a la plataforma de montaje. Los pernos de las bombas cuentan con gomas cuya función es amortiguar las vibraciones del motor.
3. Todas las intersecciones de ángulos y soleras están soldadas y esmeriladas; con excepción de la delimitación entre las 2 plataformas.

Plataformas de madera	
Identificador	Dimensiones
A	Madera 10 x 70 x 1.8 cm
B	Madera 37 x 70 x 1.8 cm
C	Madera 63 x 70 x 1.8 cm
D	Madera 19 x 70 x 1.8 cm
E	Madera 19 x 70 x 1.8 cm
F	Madera 73 x 70 x 1.8 cm
G	Madera 37 x 70 x 1.8 cm
H	Madera 23 x 70 x 1.8 cm

Materiales totales	
Cantidad	Nombre
1	Pánel de madera triplay 2.4m x 1.2m x 1.8mm
4	Correa
24	Pernos 3/8" 2"
15	Grapas 1cm
25	Abrazadera 20mm

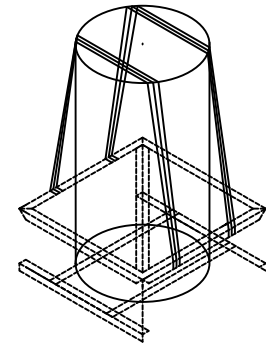
Detalle 5

Los puntos marcados con la leyenda "Ab" representan los puntos de anclaje de las tuberías hidráulicas y eléctricas a la estructura metálica.



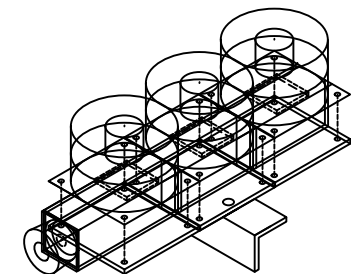
Detalle 1

Las correas tienen 2 funciones, la primera es mantener inamovibles los recipientes cuando están vacíos y la segunda es amortiguar la vibración durante la operación. Las correas están sujetas al anillo exterior de la de las torres estructurales.



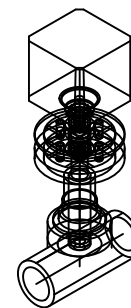
Detalle 2

El intercambiador de calor de efecto peltier descansa sobre el anillo exterior de la torre estructural del recipiente FA-03. Para amortiguar la vibración durante la operación, la base de acrílico está atornillada a una de las aristas del anillo exterior.



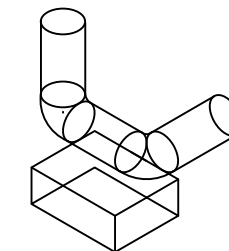
Detalle 3

La base del estator de la válvula de control está fijado en la tubería del by-pass del mismo. A su vez, la tubería de by pass está doblemente anclada a la torre estructural del recipiente FA-03 para compensar el peso extra del motor.



Detalle 4

La parte inferior de la línea 1/2"-S-2002-PP16 descansa sobre una base de madera a manera de soporte, esta está alineado con la succión de la bomba de servicio GA-01. Con esto se evita colocar 2 cambios de dirección adicionales que serían necesarios si se dejara la tubería completamente descansando sobre la plataforma de montaje.



REVISIONES				DIBUJOS DE REFERENCIA				DIB.		PROY.		REV.		COORD.		APROBADO		ESC.		ACOT.		SIN			
CP	FECHA	DESCRIPCION	FECHA	POR	Vo.Bo.	NUM	DIBUJOS DE REFERENCIA	DIB.	AVP	PROY.	AVP	REV.	AVP	COORD.	AVP	APROBADO	AGG	ESC.	S/E	ACOT.	SIN	APROBADO POR	PROYECTO No.:	No. PLANO:	REV.
		MCA					Isométrico de Distribución Hidráulica A-2020-IQ-006.DWG																		
							Plano de Estructuras A-2020-IQ-012.DWG																		
							Plano de Distribución Eléctrica y Electrónica A-2020-IQ-015.DWG																		





Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Anexo 4 Ingeniería de Procura



Anexo 4

Ingeniería de Procura

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Agosto 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	4

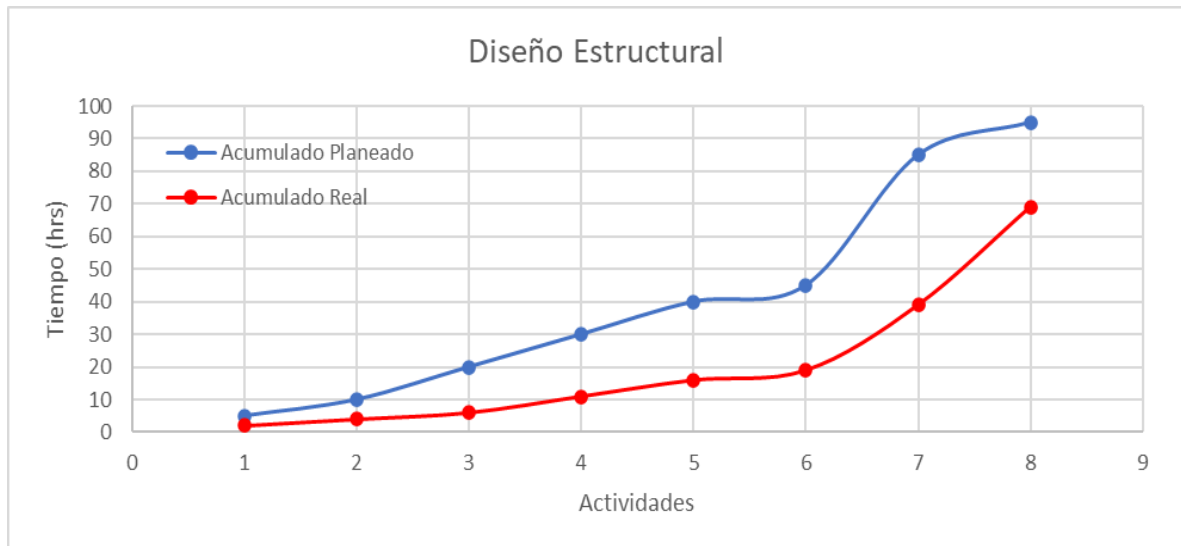


Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Ingeniería de Procura



1. Planeación

1. Diseño Estructural					
Número	Actividad	Tiempo Planeado	Tiempo Real	Acumulado Planeado	Acumulado Real
1.1.	Revisión bibliográfica				
1.1.1.	Sopotería	5	2	5	2
1.1.2.	Soldadura por arco eléctrico	5	2	10	4
1.2.	Selección y cotización de materiales	10	2	20	6
1.3.	Elaboración de planos				
1.3.1.	Plano de Estructuras	10	5	30	11
1.3.2.	Plano de Acabados	10	5	40	16
1.3.3.	Capacitación técnica de soldadura y esmerilado	5	3	45	19
1.3.4.	Aprendizaje del software SketchUp para maquetas 3D	40	20	85	39
1.3.5.	Maqueta 3D	10	30	95	69
Tiempo total (hr)		95	69		



Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	16 Octubr 2020
D. Salazar			Versión	Cuarta
V. Villar			# Documento	4



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Ingeniería de Procura



2. Diseño Hidráulico					
Número	Actividad	Tiempo Planeado	Tiempo Real	Acumulado Planeado	Acumulado Real
2.1.	Revisión bibliográfica				
2.1.1.	Recipientes	10	3	10	3
2.1.2.	Tuberías	10	20	20	23
2.1.3.	Bombas	10	10	30	33
2.1.4.	Válvulas de control	10	5	40	38
2.2.	Selección y cotización de materiales, recipientes y accesorios	10	15	50	53
2.3.	Cálculos				
2.3.1.	Pérdidas de carga	20	25	70	78
2.3.2.	Especificación de bombas	20	10	90	88
2.4.	Elaboración de planos				
2.4.1	Isométrico de distribución hidráulica	10	20	100	108
2.4.2	Diseño de recipientes (3)	30	20	130	128
1.3.3.	Capacitación técnica de termofusión	10	3	140	131
Tiempo total (hr)		140	131		



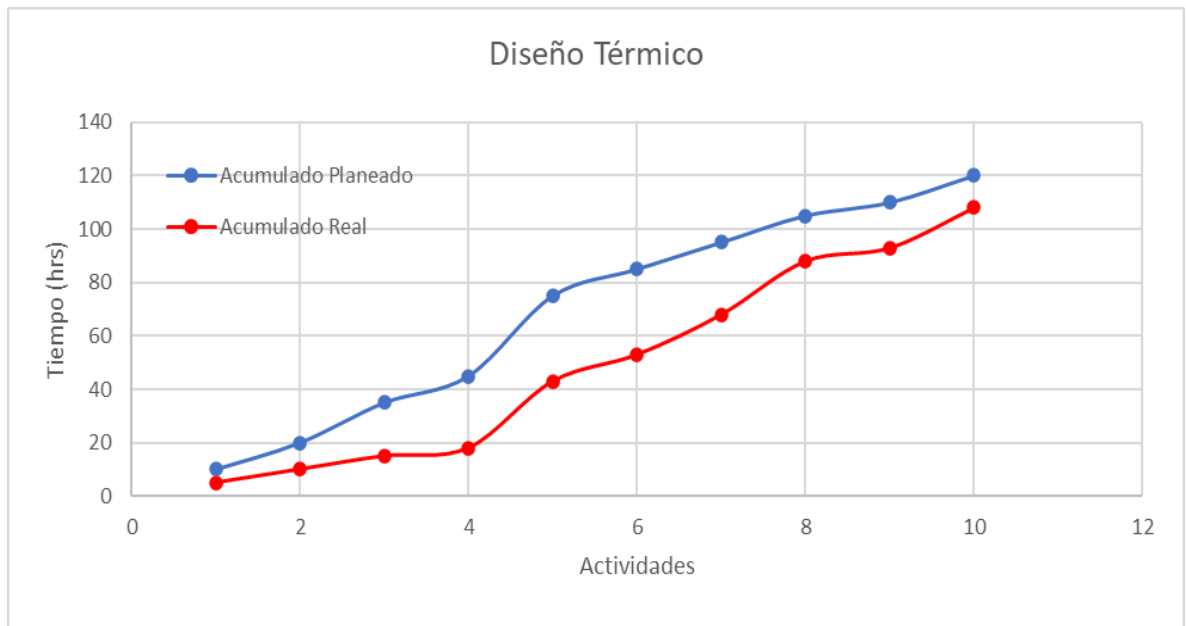
Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	16 Octubr 2020
D. Salazar			Versión	Cuarta
V. Villar			# Documento	4



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Ingeniería de Procura



3. Diseño Térmico					
Número	Actividad	Tiempo Planeado	Tiempo Real	Acumulado Planeado	Acumulado Real
3.1.	Revisión bibliográfica				
3.1.1.	Intercambiadores de doble tubo	10	5	10	5
3.1.2.	Aislantes térmicos	10	5	20	10
3.1.3.	Efecto Peltier	15	5	35	15
3.2.	Selección y cotización de materiales y accesorios	10	3	45	18
3.3.	Cálculos del intercambiador de doble tubo	30	25	75	43
3.4.	Experimentación con la celda Peltier	10	10	85	53
3.5.	Elaboración de planos				
3.5.1.	Doble tubo	10	15	95	68
3.5.2.	Efecto Peltier	10	20	105	88
3.6.	Aprendizaje de funciones avanzadas de ProII	5	5	110	93
3.7.	Simulación en ProII	10	15	120	108
	Tiempo total (hr)	120	108		



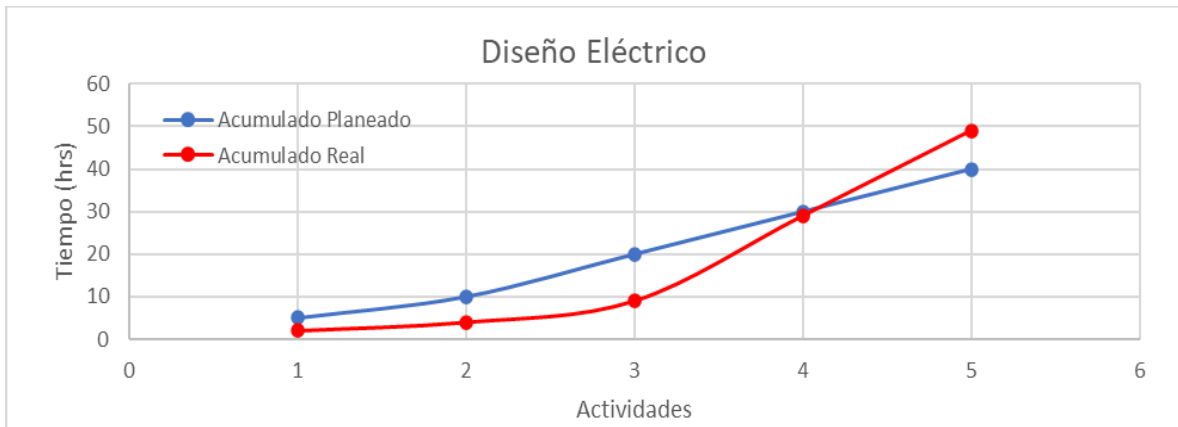
Revisión		Autor	
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha
D. Salazar			Versión
V. Villar			# Documento
			16 Octubr 2020
			Cuarta
			4



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Ingeniería de Procura



4. Diseño Eléctrico					
Número	Actividad	Tiempo Planeado	Tiempo Real	Acumulado Planeado	Acumulado Real
4.1.	Revisión bibliográfica				
4.1.1.	Tableros eléctricos	5	2	5	2
4.1.2.	Redes de distribución	5	2	10	4
4.2.	Selección y cotización de materiales y accesorios	10	5	20	9
4.3.	Elaboración de planos				
4.3.1.	Diagramá unifilar eléctrico	10	20	30	29
4.3.2.	Isométrico de distribución eléctrica	10	20	40	49
Tiempo total (hr)		40	49		



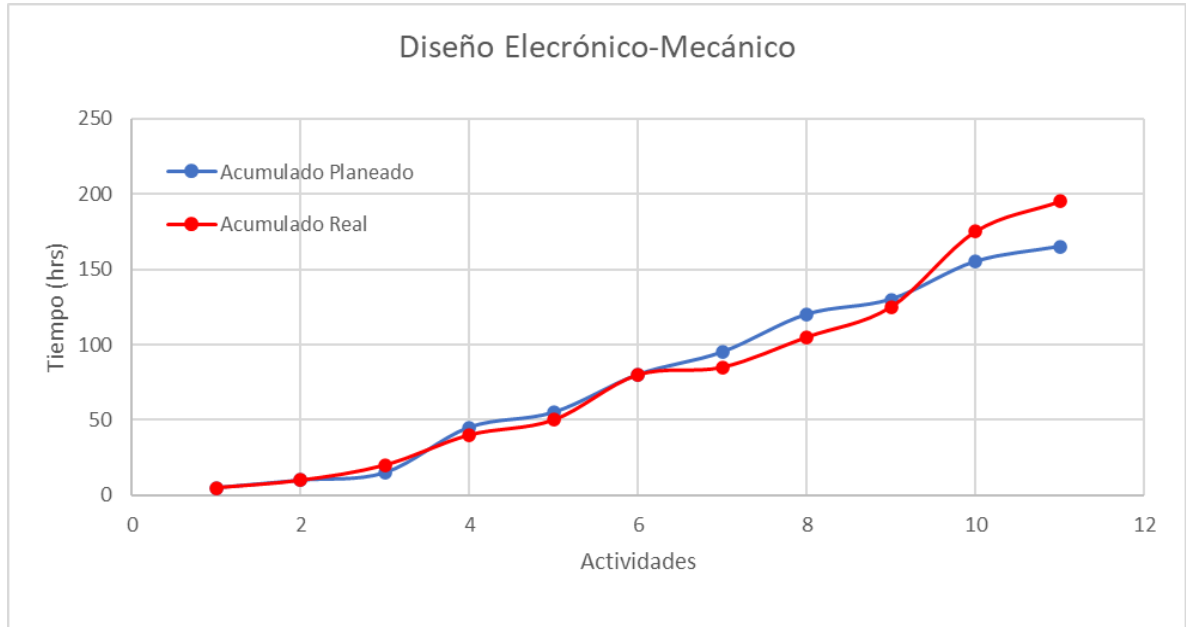
Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	16 Octubr 2020
D. Salazar			Versión	Cuarta
V. Villar			# Documento	4



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Ingeniería de Procura



5. Diseño Electrónico-Mecánico					
Número	Actividad	Tiempo Planeado	Tiempo Real	Acumulado Planeado	Acumulado Real
5.1.	Revisión bibliográfica				
5.1.1.	Interacción software-hardware	5	5	5	5
5.1.2.	Modulación PWM	5	5	10	10
5.1.3.	Engranajes y transmisiones	5	10	15	20
5.1.4.	Control feedback con respuesta PID	30	20	45	40
5.2.	Selección y cotización de instrumentos y accesorios	10	10	55	50
5.3.	Aprendizaje de Arduino como PLC	25	30	80	80
5.4.	Aprendizaje de Proteus para simulación electrónica	15	5	95	85
5.5.	Aprendizaje de Simulink	25	20	120	105
5.6.	Simulación en Proteus	10	20	130	125
6.7.	Experimentación e integración del algoritmo de control con la válvula	25	50	155	175
5.8.	Elaboración de planos				
5.8.1	Diagrama unifilar electrónico	10	20	165	195
Tiempo total (hr)		165	195		



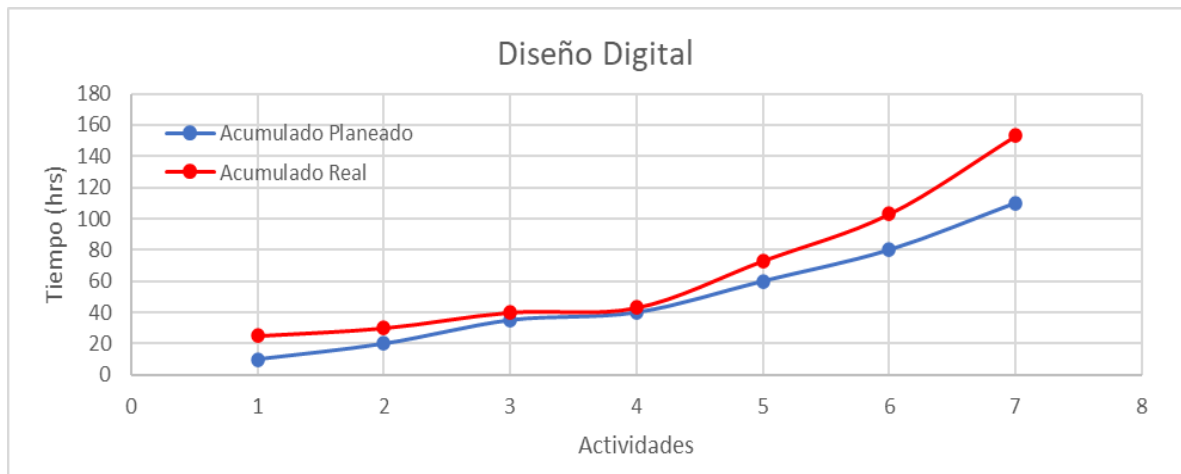
Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	16 Octubr 2020
D. Salazar			Versión	Cuarta
V. Villar			# Documento	4



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Ingeniería de Procura



6. Diseño Digital					
Número	Actividad	Tiempo Planeado	Tiempo Real	Acumulado Planeado	Acumulado Real
6.1.	Revisión bibliográfica				
6.1.1.	Programación orientada a objetos	10	25	10	25
6.1.2.	Protocolo MVC	10	5	20	30
6.1.3.	Generalidades de lenguajes de alto nivel (Python, JavaScript, Matlab)	15	10	35	40
6.2.	Selección de lenguaje	5	3	40	43
6.3.	Aprendizaje de Matlab	20	30	60	73
6.4.	Aprendizaje de App Designer	20	30	80	103
6.5.	Programación de la interfaz	30	50	110	153
Tiempo total (hr)		110	153		



Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	16 Octubr 2020
D. Salazar			Versión	Cuarta
V. Villar			# Documento	4



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Ingeniería de Procura



7. Formato Documental					
Número	Actividad	Tiempo Planeado	Tiempo Real	Acumulado Planeado	Acumulado Real
1..	Ingeniería conceptual	50	90	50	90
1.1.	Concepción	5	25	5	25
1.2.	Análisis de limitaciones técnicas	5	10	10	35
1.3.	Análisis de limitaciones económicas	5	10	15	45
1.4.	Definición superficial	5	15	20	60
1.5.	Emisión de Mark I	10	20	30	80
1.6.	Documentación conceptual	20	10	50	90
2..	Ingeniería básica	185	167	235	257
2.1.	Bases de diseño	5	2	55	92
2.2.	Criterios de diseño	5	2	60	94
2.3.	Descripción del proceso	5	2	65	96
2.4.	Lista de equipos	10	3	75	99
2.5.	Balace de materia y energía	15	10	90	109
2.6.	Requerimientos de servicios auxiliares	5	3	95	112
2.7.	Diagrama de flujo de proceso	5	10	100	122
2.8.	Hojas de datos de equipo	10	10	110	132
2.9.	Diagrama de tuberías e instrumentos	10	30	120	162
2.10.	Índice de líneas	5	5	125	167
2.11.	Plano de distribución general	5	5	130	172
2.12.	Índice de instrumentos	10	15	140	187
2.13.	Índice de control	10	15	150	202
2.14.	Hojas de datos de válvulas	5	5	155	207
2.15.	Sumario de alarmas	5	5	160	212
2.16.	Circuitos de control	30	10	190	222
2.17.	Tablero de control	10	5	200	227
2.18.	Plano de notas	10	15	210	242
2.19.	Filosofía de operación y control	20	10	230	252
2.20.	Especificaciones generales	5	5	235	257
3..	Ingeniería de detalle	265	210	500	467
3.1.	Diseño de recipientes (3)	25	10	260	267
3.2.	Isométrico de distribución hidráulica	10	15	270	282
3.3.	Especificación de tuberías y perfil hidráulico	25	25	295	307
3.4.	Especificación de bombas	25	10	320	317
3.5.	Memoria de cálculo hidráulico	25	10	345	327
3.6.	Diseño de intercambiador de calor de doble tubo	25	10	370	337
3.7.	Diseño de intercambiador de calor efecto Peltier	25	10	395	347

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	16 Octubr 2020
D. Salazar			Versión	Cuarta
V. Villar			# Documento	4



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Ingeniería de Procura



3.8.	Memoria de cálculo térmico	25	25	420	372
3.9.	Diseño de válvulas de control	25	30	445	402
3.10.	Plano de estructuras	15	10	460	412
3.11.	Diagrama unifilar eléctrico	10	5	470	417
3.12.	Diagrama unifilar electrónico	10	10	480	427
3.13.	Plano de distribución eléctrica y electrónica	10	15	490	442
3.14.	Plano de acabados	10	25	500	467
4.	Ingeniería de procura	10	30	510	497
4.1.	Planificación	5	20	505	487
4.2.	Estimación de costos	5	10	510	497
4.3.	Bitácora de construcción	570	75	1080	572
4.3.1.	Construcción de la plataforma y torres estructurales	25	0	535	497
4.3.2.	Construcción del intercambiador de doble tubo	25	0	560	497
4.3.3.	Instalación de boquillas en recipientes	10	0	570	497
4.3.4.	Construcción de tramos de la red hidráulica	25	0	595	497
4.3.5.	Construcción del intercambiador de efecto peltier	25	25	620	522
4.3.6.	Construcción de la válvula de control	25	50	645	572
4.3.7.	Construcción del gabinete eléctrico	25	0	670	572
4.3.8.	Acondicionamiento y montaje en planta de la estructura metálica	25	0	695	572
4.3.9.	Ensamblado de red hidráulica e integración de equipos	25	0	720	572
4.3.10.	Montaje de sensores	25	0	745	572
4.3.11.	Montaje de red de distribución eléctrica y electrónica	25	0	770	572
4.3.12.	Configuración eléctrica y electrónica del gabinete	25	0	795	572
4.3.13.	Configuración digital	10	0	805	572
4.3.14.	Acabados	25	0	830	572
4.4.	Pruebas de arranque	125	0	1205	572
4.4.1.	Prueba hidráulica	25	0	855	572
4.4.2.	Prueba térmica	25	0	880	572
4.4.3.	Prueba de instrumentos	25	0	905	572
4.4.4.	Prueba general	50	0	955	572
5.	Entrega	25	0	1230	572

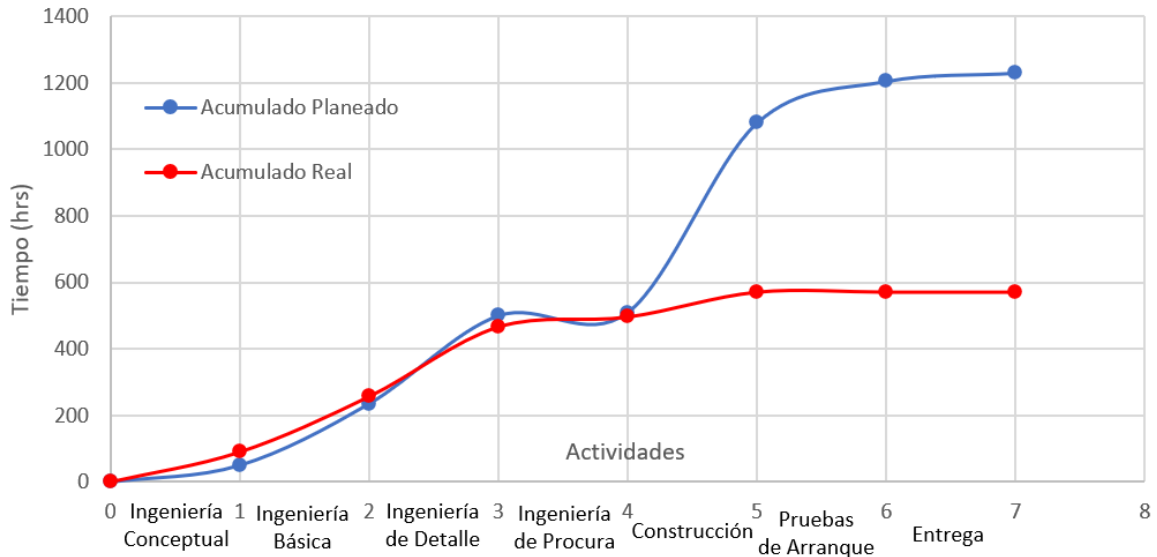
Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	16 Octubr 2020
D. Salazar			Versión	Cuarta
V. Villar			# Documento	4



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Ingeniería de Procura



Proyecto Resumido



2. Costos

Concepto	Nombre	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Subtotal
Recipientes	Recipiente de 42 L Polietileno	3	pz	\$215	\$645
	Adaptadores hembra	16	pz	\$20	\$320
	Correas	4	pz	\$15	\$60
SUBTOTAL RECIPIENTES					\$1,025
Dobletubo	Nacobre 1 1/2"	1	1.5m	\$400	\$400
	Nacobre 1"	1	1.5m	\$300	\$300
	Armaflex 25mm	1	2m	\$250	\$250
	Nacobre Tee 1 1/2"	2	pz	\$172	\$344

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	16 Octubr 2020
D. Salazar			Versión	Cuarta
V. Villar			# Documento	4



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Ingeniería de Procura



	Nacobre Tapón 1 1/2"	2	pz	\$47	\$94
	Nacobre reducción 38x25	2	pz	\$41	\$82
	Nacobre reducción 25x13	4	pz	\$18	\$72
	Nacobre Adaptador 1/2" cuerda exterior	2	pz	\$9	\$18
SUBTOTAL DOBLETUBO					\$1,560
Peltier	Celda Peltier	3	pz	\$60	\$180
	Disipador 12V	3	pz	\$300	\$900
	Perfil cuadrado Zintro Tc175 44mm	1	50 cm	\$100	\$100
	Tornillos tuercas y gomas 3" 3/8"	12	pz	\$10	\$120
	Soporte de Acrílico 1/2" 10cmx38cm	1	cm^2	\$100	\$100
	Adaptador hembra	2	pz	\$20	\$40
SUBTOTAL PELTIER					\$1,440
Estructura	Acero Solera 1/8" 3/4" 6m	3	pz	\$306	\$918
	Acero Ángulo 1/8" 3/4" 6m	6	pz	\$400	\$2,400
	Tornillos tuercas y rondanas 2" 3/8"	40	pz	\$5	\$200
	Triplay BC 18mm 1.20x2.4m	1	pz	\$730	\$730
SUBTOTAL ESTRUCTURA					\$4,248
Eléctrico	Bomba IUSA ACm37	2	pz	\$900	\$1,800
	Resistencia eléctrica 2000W	1	pz	\$150	\$150
	Fuente de voltaje variable 300W	1	pz	\$800	\$800
	Conduit recto 3/4	1	3m	\$80	\$80
	Conduit conector 3/4	10	pz	\$10	\$100
	Conduit codo 3/4	6	pz	\$23	\$138
	Caja oval roscada 3/4 (tee)	8	pz	\$50	\$400
	Conduit cople 3/4	--	pz	\$8	\$0
	Conduit chalupa cuadrada 3/4	5	pz	\$15	\$75
	Gabinete	1	pz	\$500	500

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	16 Octubr 2020
D. Salazar			Versión	Cuarta
V. Villar			# Documento	4



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Ingeniería de Procura



	Pastilla eléctrica	11	pz	\$70	\$770
	Cable uso rudo 2x10	7	m	\$20	\$140
	Cable duplex #20	10	m	\$10	\$100
SUBTOTAL ELECTRICO					\$5053
Hidráulico	Tuboplus recto 20mm 4m	4	pz	\$65	\$260
	Tuboplus codo a 90 20mm	22	pz	\$4	\$88
	Tuboplus tee 20 mm	7	pz	\$5	\$35
	Tuboplus tee con rosca central h	4	pz	\$36	\$144
	Tuboplus tee con rosca central m	7	pz	\$27	\$189
	Tuboplus conector hembra 20mm	23	pz	\$26	\$598
	Tuboplus conector macho 20mm	8	pz	\$30	\$240
	Tuboplus válvula de globo 20mm	5	pz	\$140	\$700
	Tuboplus válvula de compuerta 20mm	8	pz	\$90	\$720
	Tuboplus tuerca unión 20mm	2	pz	\$82	\$164
	Válvula Check latón 1/2"	2	pz	\$80	\$160
	Nacobre Adaptador 1/2" cuerda exterior	4	pz	\$9	\$36
	Conector macho-manguera 1/2"	5	pz	\$10	\$50
	Manguera de plástico 1/2" 2m	3	pz	\$20	\$60
SUBTOTAL HIDRÁULICO					\$3,444
Electronico	Sensor de temperatura DS18B20	10	pz	\$45	\$450
	Sensor de nivel JSN-SR04T	3	pz	\$220	\$660
	Sensor de flujo Yf-s201	3	pz	\$92	\$276
	Sensor de corriente ACS712	2	pz	\$58	\$116
	Electroválvula 12V	1	pz	\$165	\$165
	Transductor de presión G 1/4	4	pz	\$250	\$1,000
	Módulo relé KY-019	6	pz	\$20	\$120
	Modulador PWM 12V 10A	1	pz	\$89	\$89
Modulador PWM 120V 40A	2	pz	\$830	\$1,660	

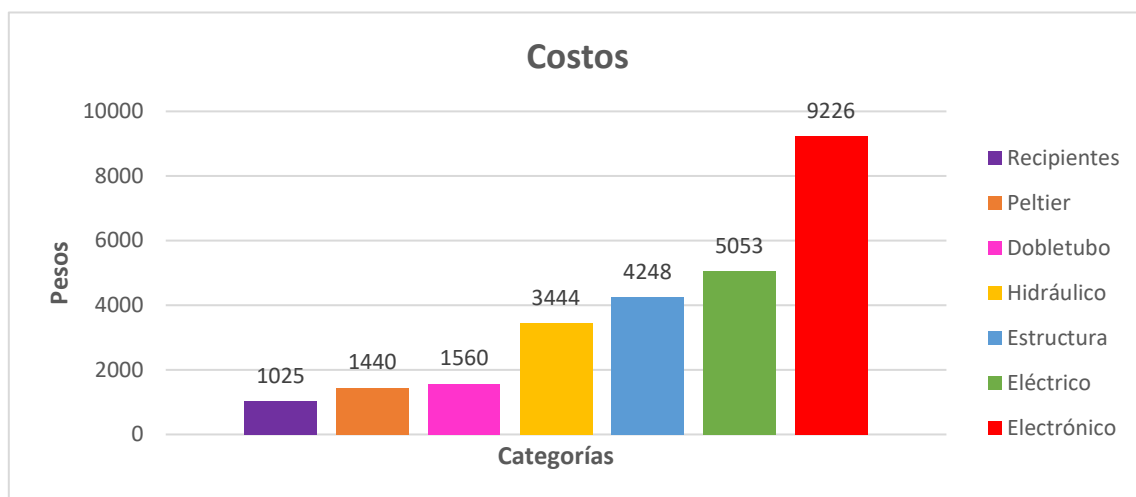
Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	16 Octubr 2020
D. Salazar			Versión	Cuarta
V. Villar			# Documento	4



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Ingeniería de Procura



Motor de pasos NEMA 17	1	pz	\$300	\$300
Driver A4988	1	pz	\$31	\$31
Arduino UNO	6	pz	\$129	\$774
Display I2C LCD2004	5	pz	\$150	\$750
Computadora	1	pz	--	\$0
Tarjeta PCI Express 4 Usb 3.0	1	pz	\$315	\$315
Baquelita de interconexión	1	pz	\$150	\$150
Borneras 3 pines	20	pz	\$6	\$120
Borneras 2 pines	20	pz	\$5	\$100
Cable Dupond negro	4	18 m	\$140	\$560
Cable Dupond rojo	4	18 m	\$140	\$560
Cable Dupond amarillo	2	18 m	\$140	\$280
Cable Dupond azul	2	18 m	\$140	\$280
Cable Dupond verde	3	18 m	\$140	\$420
Resistencia R4K7	10	pz	\$5	\$40
SUBTOTAL ELECTRÓNICO				\$9,226
TOTAL				\$25,996



Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	16 Octubr 2020
D. Salazar			Versión	Cuarta
V. Villar			# Documento	4



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Anexo 5 Código de Arduino



Anexo 5

Código de Arduino

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Agosto 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	5



Ingeniería conceptual, básica, detalle, procura,
 construcción y puesta en marcha de un sistema
 modular de flujo de fluidos con intercambio de calor
 íntegramente monitoreado y controlado con Arduino
 y Matlab.



Código de Arduino

En este documento se incluye el código de solo una de las placas de Arduino, dicho código fue escrito en el entorno de desarrollo (IDE) propio de Arduino para posteriormente ser compilado y descargado en la memoria *EEPROM* de la placa y funcionar de manera independiente a la computadora.

El código pertenece a la placa “Zulu”, en la cual se tienen conectados un sensor de temperatura, uno de nivel y uno de caudal. Los resultados son enviados al puerto de monitoreo local “Alpha” y a la computadora de control por comunicación Serial a través del puerto COM4.

```
int tiempo; //Variable para contar el muestreo

#include <LiquidCrystal_I2C.h> //Librería LCD_I2C
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); //Adress del display
#include <OneWire.h> //Librería para transmitir datos por un cable
#include <DallasTemperature.h> //Librería que arroja la temperatura en °C
OneWire TempBus(3); //Se establece el pin 3 como bus OneWire
DallasTemperature TempSensor(&TempBus); // Objeto para el sensor de temperatura

#define trigPin 4 //Se define el pin trigger del sensor de nivel
#define echoPin 5 //Se define el pin echo del sensor de nivel
long duration; //Se declara una variable para la duración
int distance; //Se declara una variable para la distancia

#define entradadepulso 2 //Se define el pin 2 como entrada del sensor de flujo.
unsigned long encendido; //Variables para simular un encendido y apagado
unsigned long apagado; //Unsigned long es un número de 32 bits positivo
float freq; //Variable para la frecuencia de pulsos
float periodo; //Variable para el periodo de simulación de interrupciones
int caudal; //Variable para caudal

void setup() { //Configuración de Arduino
```

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Agosto 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	5



Ingeniería conceptual, básica, detalle, procura,
 construcción y puesta en marcha de un sistema
 modular de flujo de fluidos con intercambio de calor
 íntegramente monitoreado y controlado con Arduino
 y Matlab.



Código de Arduino

```

tiempo = 0; //Valor inicial del tiempo de muestreo

delay(1000); //Margen de inicio (tiempo en milisegundos)
Serial.begin(9600); //Iniciación de la consola serial (Baudrate)

TempSensor.begin(); //Iniciación del sensor de temperatura

lcd.init(); //Iniciación del display
lcd.backlight(); //Iniciación de la luz de fondo del display
lcd.clear(); //Borrar todo el display antes de empezar

pinMode(trigPin, OUTPUT); //Se declara el trigPin como salida
pinMode(echoPin, INPUT); //Se declara el echoPin como entrada

pinMode(entradadepulso, INPUT); //Se declara entradadepulso como entrada
}

void loop() { //Configuración del ciclo

tiempo = tiempo+1; //Se añade uno al contador de muestreo

TempSensor.requestTemperatures(); //Comando para leer la temperatura
float temp= TempSensor.getTempCByIndex(0); //Request de temperatura en °C

digitalWrite(trigPin, LOW); //Escritura de trigpin en apagado
delay(200); //Delay de .2 segundos
digitalWrite(trigPin, HIGH); //Escitura de trigpin en prendido
delay(200); //Delay de .2 segundos
digitalWrite(trigPin, LOW); //Escritura de trigpin en apagado
duration = pulseIn(echoPin, HIGH); //El comand pulseIn() regresa duración en microseg
distance = duration*0.034/2; //Cálculo de la distancia en cm

encendido = pulseIn(entradadepulso, HIGH); //Se prende el registro de pulsos
apagado = pulseIn(entradadepulso, LOW); //Se apaga el registro de pulsos

```

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Agosto 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	5



Ingeniería conceptual, básica, detalle, procura,
 construcción y puesta en marcha de un sistema
 modular de flujo de fluidos con intercambio de calor
 íntegramente monitoreado y controlado con Arduino
 y Matlab.



Código de Arduino

```

periodo = encendido+apagado;           //Se obtiene un periodo promedio total
freq = 1000000/periodo;                //Se calcula la frecuencia empírica
caudal = freq/7.5;                     //K=7.5 para 1/2" a L/min

Serial.print(tiempo);                 //Printea el tiempo en el monitor serial
Serial.print(" ");                     //Printea un espacio para separar el array
Serial.print(temp);                    //Printea la temperatura en el monitor serial
Serial.print(" ");                     //Printea un espacio para separar el array
Serial.print(distance);                //Printea la distancia en el monitor serial
Serial.print(" ");                     //Printea un espacio
Serial.println(caudal);                //Printea el caudal y pasa al siguiente renglón

lcd.setCursor(0,0);                    //Se coloca el cursor en la coordenada (columna 0),(renglón 0)
lcd.print("TFA1:");                    //Se printea el string "TFA1:" en esa coordenada
lcd.print(temp);                       //Se printea el valor de la variable "temp"
lcd.print("C");                         //Se printea el string "C"
lcd.setCursor(0,1);                    //Se coloca el cursor en la coordenada (columna 0, renglón 1)
lcd.print("LFA1:");                     //Se printea el string "LFA1:" en esa coordenada
lcd.print(distance);                    //Se printea el valor de la variable "distance"
lcd.print("cm");                         //Se printea el string "cm"
lcd.setCursor(0,2);                    //Se coloca el cursor en la coordenada (columna 0),(renglón 2)
lcd.print("Q1:");                        //Se printea el string "Q1:" en esa coordenada
lcd.print(caudal);                      //Se printea el valor de la variable "caudal"
lcd.print("L/min");                     //Se printea el string "L/min"
lcd.setCursor(15,3);                   //Se coloca el cursor en la coordenada (columna 16),(renglón 3)
lcd.print("Alpha");                     //Se printea el string "Alpha" en esa coordenada

delay(1000);                            //Se da un segundo de delay para volver a empezar
}

```

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	29 Agosto 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	5



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Anexo 6 Código de la Interfaz Gráfica de Usuario



Anexo 6

Código de la Interfaz Gráfica de Usuario (GUI)

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	14 Octubr 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	6

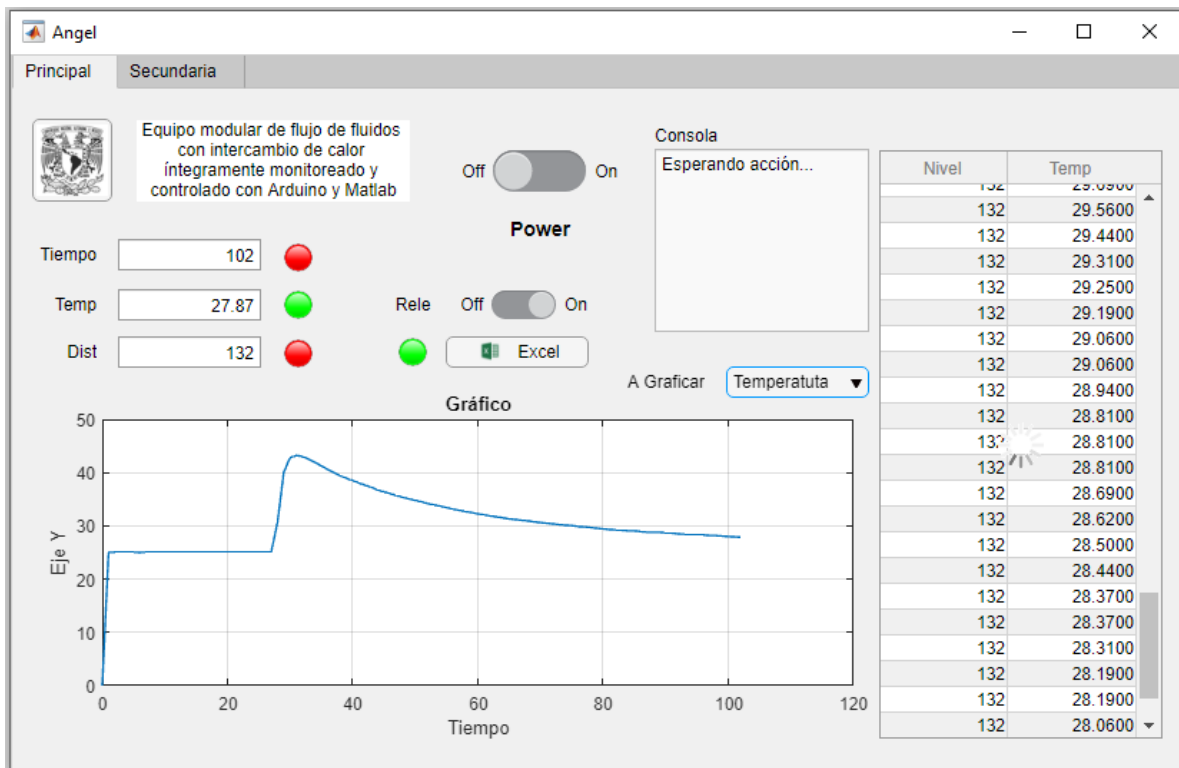


Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Código de la Interfaz Gráfica de Usuario



El código de la interfaz gráfica de usuario (GUI) en su versión Beta 1.0 cuenta con un total de 3560 líneas de código, lo equivalente a 135 páginas de extensión; motivo por el cual se optó por sustituirlo en este documento por su versión Alfa 1.8 (versión utilizada para pruebas), la cual sólo tiene 380 líneas de código. Esta versión incluye las funcionalidades principales de la versión completa.

Funciona con 2 placas de Arduino, una para recibir datos, y otra para enviar órdenes a un relé.



Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	14 Octubr 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	6



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Código de la Interfaz Gráfica de Usuario



```

classdef PruebaMaestra < matlab.apps.AppBase
    % Properties that correspond to app components
    properties (Access = public)
        Angel                matlab.ui.Figure
        TabGroup              matlab.ui.container.TabGroup
        PrincipalTab         matlab.ui.container.Tab
        Excel                 matlab.ui.control.Button
        Grafico               matlab.ui.control.UIAxes
        DistEditFieldLabel   matlab.ui.control.Label
        Dist                  matlab.ui.control.NumericEditField
        TempEditFieldLabel   matlab.ui.control.Label
        Temp                  matlab.ui.control.NumericEditField
        ConsolaLabel         matlab.ui.control.Label
        Consola               matlab.ui.control.TextArea
        TiempoLabel          matlab.ui.control.Label
        Tiempo                matlab.ui.control.NumericEditField
        AGraficarDropDownLabel matlab.ui.control.Label
        Agraficar             matlab.ui.control.DropDown
        Tabla                 matlab.ui.control.Table
        ReleSwitchLabel      matlab.ui.control.Label
        PowerLabel           matlab.ui.control.Label
        Power                 matlab.ui.control.Switch
        Relecito              matlab.ui.control.Switch
        TLamp                 matlab.ui.control.Lamp
        TimeLamp             matlab.ui.control.Lamp
        DLamp                 matlab.ui.control.Lamp
        Titulo                matlab.ui.control.Label
        LogoUnam              matlab.ui.control.Button
        LRele                 matlab.ui.control.Lamp
        SecundariaTab        matlab.ui.container.Tab
    end
    %%%%% Objeto para activar un relé%%%%%
    properties (Access = public)
        ObjetoArduino        %Propiedad pública para la interacción con el
                             arduino para escritura de datos al relé
    end

```

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	14 Octubr 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	6



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Código de la Interfaz Gráfica de Usuario



```

%% Función de inicio
methods (Access = public)
function Inicio(app) %Función de inicio con acceso público

%% Condiciones iniciales
delete(instrfind({'Port'},{'COM4'})); %Se borra el registro anterior
app.ObjetoArduino = arduino('COM5','UNO'); %Definición del objeto Arduino
s=serial('COM4','BAUD',9600); %Variable para la comunicación serial
fopen(s); %Apertura del puerto serial
t0=clock; %Condición para establecer un loop de tiempo
TempArray = [0]; %Array de temperatura a graficar, condición inicial
TimeArray = [0]; %Array de tiempo a graficar, condición inicial
DistArray = [1]; %Array de distancia a graficar, condición inicial
ExcelArray = [0]; %Array para excel
app.Agraficar.ItemsData = {DistArray, TempArray}; %Cambio del 'Data Values'
                                                    de los items del menú
                                                    desplegable para
                                                    ser válidos como array

app.Relecito.ItemsData = {0, 1}; %Cambio de los 'Data Values'
                                del switch del relé a Booleans
app.Power.ItemsData = {0, 1}; %Cambio de los 'Data Values'
                              del switch de arranque a Booleans
app.Consola.Value = "Esperando acción."; %Mensaje de bienvenida

%% Loop de request de datos
while etime(clock,t0) < inf %Loop de tiempo infinito
    Zulu = fscanf(s,'%e'); %Requestea el array del arduino del canal serial
    app.Tiempo.Value = Zulu(1,1); %Acceso al index 1,1
    app.Temp.Value = Zulu(1,2); %Acceso al index 1,2
    app.Dist.Value = Zulu(1,3); %Acceso al index 1,3
    TempArray = [TempArray,Zulu(1,2)]; %Actualización del array conservando
                                        registro anterior
    TimeArray = [TimeArray,Zulu(1,1)]; %Actualización del array conservando
                                        registro anterior
    DistArray = [DistArray,Zulu(1,3)]; %Actualización del array conservando
                                        registro anterior

```

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	14 Octubr 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	6



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Código de la Interfaz Gráfica de Usuario



%%%% Grafico %%%%

```
app.Agraficar.ItemsData = {DistArray, TempArray}; %Cambio del 'Data Values' de los items del menú desplegable para ser válidos como array
EjeY = app.Agraficar.Value; %EjeY como el array seleccionado del menú
plot(app.Grafico,TimeArray,EjeY); %Ploteo del gráfico (UiAxes,Array en X, Array en Y)
drawnow; %Actualización del gráfico de manera dinámica
EjeY = app.Agraficar.Value; %EjeY como el array seleccionado del menú
plot(app.Grafico,TimeArray,EjeY); %Ploteo del gráfico (UiAxes,Array en X, Array en Y)
drawnow; %Actualización del gráfico de manera dinámica

ExcelArray = [DistArray',TempArray']; %Array para exportar datos a Excel
app.Tabla.Data = ExcelArray; %Registro en tabla
```

%%%% Alarmas %%%%

```
if 25 < app.Temp.Value && app.Temp.Value < 30 %Si se cumplen las DOS condiciones
    app.TLamp.Color = [0 1 0]; %el led cambia a verde
else %si no se cumplen
    app.TLamp.Color = [1 0 0]; %el led cambia a rojo
end

if 40 < app.Dist.Value && app.Dist.Value < 60 %Si se cumplen las DOS condiciones
    app.DLamp.Color = [0 1 0]; %el led cambia a verde
else %si no se cumplen
    app.DLamp.Color = [1 0 0]; %el led cambia a rojo
end

if 10 < app.Tiempo.Value && app.Tiempo.Value < 60 %Si se cumplen las DOS condiciones
    app.TimeLamp.Color = [0 1 0]; %el led cambia a verde
else %si no se cumplen
```

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	14 Octubr 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	6



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Código de la Interfaz Gráfica de Usuario



```

app.TimeLamp.Color = [1 0 0]; %el led cambia a rojo
end
end %Aquí se termina el while
end %Aquí se termina la función inicio
end %Aquí se termina el methods de la función inicio

%%%%% ByPass de métodos privados a públicos %%%%%
methods (Access = private)
% Code that executes after component creation
function startupFcn(app)
Inicio(app); %Función privada que triggerea otra función con
acceso público, de otra manera no acepta incoming data
del arduino, la verdad no sé cómo cambiar los methods,
por eso hice esta función

end

%%%%% Exportar a Excel %%%%%
% Button pushed function: Excel
function Exportar(app, event)
PrimeraFila = {'Time', 'TFA1', 'TFA2', 'TFA3', 't1', 't2', 'T1', 'T2',
'TPéH', 'TPéc', 'TLb', 'LFA1', 'LFA2', 'LFA3', 'PG1S', 'PG1D', 'PG2S',
'PG2D', 'Q1', 'Q2', 'QLb', 'IRe', 'IPé'};
SegundaFila = {'Sec', '°C', '°C', '°C', '°C', '°C', '°C', '°C', '°C', '°C',
'°C', 'cm', 'cm', 'cm', 'Psi', 'Psi', 'Psi', 'Psi', 'L/min', 'L/min',
'L/min', 'Amp', 'Amp'};
xlswrite('Datos.xlsx',PrimeraFila,'Sheet1','A1'); %Primera fila del
documento generado
xlswrite('Datos.xlsx',SegundaFila,'Sheet1','A2'); %Segunda fla del documento
generado
xlswrite('Datos.xlsx',app.Tabla.Data,'Sheet1','A3'); %Datos
msgbox('Datos Exportados','Aviso del sistema'); %Notificación
end

%%%%% Encendido %%%%%
% Value changed function: Power
function Arranque(app, event)

```

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	14 Octubr 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	6



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Código de la Interfaz Gráfica de Usuario



```

if app.Power.Value == 1 %Si el switch está en 'on' entonces:
    app.Power.Enable = 'off'; %Desabilita el switch de Power
    app.Consola.Value = "-Iniciando...";" "; %Mensaje de bienvenida
    app.Consola.Value = [string(app.Consola.Value); "-Establecer la
        temperatura entre 25 y 30°C";" "]; %Primera
        orden
    app.Consola.Value = [string(app.Consola.Value); "-Establecer
        distancia entre 40 y 60°C";" "]; %Segunda orden
    app.Consola.Value = [string(app.Consola.Value); "-Oprimir el logo
        de la UNAM para confirmar";" "]; %Tercera orden
else %Si el switch no está en 'on' entonces

%%%%% Apagado %%%%%
    app.Consola.Value = "-Apagando...";" "; %Notificación
    app.Consola.Value = [string(app.Consola.Value); "-Regresando al
        modo de espera";" "]; %Notificación

end
end

%%%%% Relé %%%%%
% Value changed function: Relecito
function Rele(app, event)
    if app.Relecito.Value == 1 %'Si el switch del relé está en "on"
        app.LRele.Color = [0 1 0]; %El led se pone verde
        writeDigitalPin(app.ObjetoArduino,'D9',0); %Instrucción para
            prender el relé

    end
    if app.Relecito.Value == 0 %'Si el switch del relé está en "off"
        app.LRele.Color = [1 1 1]; %El led se pone blanco
        writeDigitalPin(app.ObjetoArduino,'D9',1); %Instrucción para
            apagar el relé

    end
end

%%%%% Confirmación de acciones %%%%%
% Button pushed function: LogoUnam
function UNAM(app, event)
    if 25 < app.Temp.Value && app.Temp.Value < 30 %Si la temperatura está

```

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	14 Octubr 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	6



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Código de la Interfaz Gráfica de Usuario



```

                                entre 25 y 30 entonces:
app.Consola.Value = "-Temperatura correcta";" "; %Notificación
                                positiva
else                                %Si no está en el intervalo
app.Consola.Value = "-Temperatura incorrecta";" "; %Notificación
                                negativa
end
if 40 < app.Dist.Value && app.Dist.Value < 60 %Si la distancia está
                                entre 40 y 60
app.Consola.Value = [string(app.Consola.Value); "-Distancia
                                correcta";" "]; %Notificación positiva
else                                %Si no está en el intervalo
app.Consola.Value = [string(app.Consola.Value); "-Distancia
                                incorrecta";" "]; %Notificación negativa
end
app.Consola.Value = [string(app.Consola.Value); "-Oprimir el logo
                                de la UNAM para reintentar";" "]; %Instrucción
if (25 < app.Temp.Value && app.Temp.Value < 30) && (40 < app.Dist.Value
&& app.Dist.Value < 60) %Si se cumplen las 2 condiciones
app.Consola.Value = "-Condiciones correctas";" "; %Notificación
                                positiva
app.Consola.Value = [string(app.Consola.Value); "-Ya se puede
                                apagar el equipo";" "]; %Ultima notificación
app.Power.Enable = 'on'; %Se habilita el switch de power
end
end
end

%%%%% Creación de componentes %%%%%

% App initialization and construction
methods (Access = private)
% Create UIFigure and components
function createComponents(app)
% Create Angel
app.Angel = uifigure;
app.Angel.Position = [100 100 819 500];

```

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	14 Octubr 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	6



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Código de la Interfaz Gráfica de Usuario



```

app.Angel.Name = 'Angel';
% Create TabGroup
app.TabGroup = uitabgroup(app.Angel);
app.TabGroup.Position = [1 -3 819 504];
% Create PrincipalTab
app.PrincipalTab = uitab(app.TabGroup);
app.PrincipalTab.Title = 'Principal';
app.PrincipalTab.BackgroundColor = [0.9412 0.9412 0.9412];
% Create Excel
app.Excel = uibutton(app.PrincipalTab, 'push');
app.Excel.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, @Exportar,
true);

app.Excel.Icon = 'Excelcito.jpg';
app.Excel.Position = [304 285 100 22];
app.Excel.Text = 'Excel';
% Create Grafico
app.Grafico = uiaxes(app.PrincipalTab);
title(app.Grafico, 'Gráfico')
xlabel(app.Grafico, 'Tiempo')
ylabel(app.Grafico, 'Eje Y')
app.Grafico.Box = 'on';
app.Grafico.XGrid = 'on';
app.Grafico.YGrid = 'on';
app.Grafico.Position = [25 26 574 243];
% Create DistEditFieldLabel
app.DistEditFieldLabel = uilabel(app.PrincipalTab);
app.DistEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.DistEditFieldLabel.Position = [34 285 26 22];
app.DistEditFieldLabel.Text = 'Dist';
% Create Dist
app.Dist = uieditfield(app.PrincipalTab, 'numeric');
app.Dist.Position = [75 285 100 22];
% Create TempEditFieldLabel
app.TempEditFieldLabel = uilabel(app.PrincipalTab);
app.TempEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.TempEditFieldLabel.Position = [25 318 35 22];
app.TempEditFieldLabel.Text = 'Temp';

```

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	14 Octubr 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	6



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Código de la Interfaz Gráfica de Usuario



```
% Create Temp
app.Temp = uieditfield(app.PrincipalTab, 'numeric');
app.Temp.Position = [75 318 100 22];
% Create ConsolaLabel
app.ConsolaLabel = uilabel(app.PrincipalTab);
app.ConsolaLabel.Position = [450 436 50 22];
app.ConsolaLabel.Text = 'Consola';
% Create Consola
app.Consola = uitextarea(app.PrincipalTab);
app.Consola.Editable = 'off';
app.Consola.Position = [450 310 150 128];
% Create TiempoLabel
app.TiempoLabel = uilabel(app.PrincipalTab);
app.TiempoLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.TiempoLabel.Position = [15 353 45 22];
app.TiempoLabel.Text = 'Tiempo';
% Create Tiempo
app.Tiempo = uieditfield(app.PrincipalTab, 'numeric');
app.Tiempo.Position = [75 353 100 22];
% Create AGraficarDropDownLabel
app.AGraficarDropDownLabel = uilabel(app.PrincipalTab);
app.AGraficarDropDownLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.AGraficarDropDownLabel.Position = [425 264 60 22];
app.AGraficarDropDownLabel.Text = 'A Graficar';
% Create Agraficar
app.Agraficar = uidropdown(app.PrincipalTab);
app.Agraficar.Items = {'Distancia', 'Temperatuta'};
app.Agraficar.ItemsData = {'DistArray', 'TempArray'};
app.Agraficar.Position = [500 264 100 22];
app.Agraficar.Value = 'TempArray';
% Create Tabla
app.Tabla = uitable(app.PrincipalTab);
app.Tabla.ColumnName = {'Nivel'; 'Temp'};
app.Tabla.RowName = {};
app.Tabla.Position = [607 26 198 411];
% Create ReleSwitchLabel
app.ReleSwitchLabel = uilabel(app.PrincipalTab);
```

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	14 Octubr 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	6



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Código de la Interfaz Gráfica de Usuario



```

app.ReleSwitchLabel.HorizontalAlignment = 'center';
app.ReleSwitchLabel.Position = [266 318 30 22];
app.ReleSwitchLabel.Text = 'Rele';
% Create PowerLabel
app.PowerLabel = uilabel(app.PrincipalTab);
app.PowerLabel.HorizontalAlignment = 'center';
app.PowerLabel.FontSize = 14;
app.PowerLabel.FontWeight = 'bold';
app.PowerLabel.Position = [346 371 48 22];
app.PowerLabel.Text = 'Power';
% Create Power
app.Power = uiswitch(app.PrincipalTab, 'slider');
app.Power.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app, @Arranque,
true);
app.Power.Position = [337 408 66 29];
% Create Relecito
app.Relecito = uiswitch(app.PrincipalTab, 'slider');
app.Relecito.ItemsData = {'0', '1'};
app.Relecito.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app, @Rele,
true);
app.Relecito.Position = [336 319 45 20];
app.Relecito.Value = '0';
% Create TLamp
app.TLamp = uilamp(app.PrincipalTab);
app.TLamp.Position = [191 319 20 20];
app.TLamp.Color = [0.9412 0.9412 0.9412];
% Create TimeLamp
app.TimeLamp = uilamp(app.PrincipalTab);
app.TimeLamp.Position = [191 352 20 20];
app.TimeLamp.Color = [0.9412 0.9412 0.9412];
% Create DLamp
app.DLamp = uilamp(app.PrincipalTab);
app.DLamp.Position = [191 285 20 20];
app.DLamp.Color = [0.9412 0.9412 0.9412];
% Create Titulo
app.Titulo = uilabel(app.PrincipalTab);
app.Titulo.BackgroundColor = [1 1 1];

```

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	14 Octubr 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	6



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Código de la Interfaz Gráfica de Usuario



```
app.Titulo.HorizontalAlignment = 'center';
app.Titulo.Position = [88 401 191 57];
app.Titulo.Text = {'Equipo modular de flujo de fluidos '; 'con
intercambio de calor '; 'íntegramente monitoreado y ';
'controlado con Arduino y Matlab'};
% Create LogoUnam
app.LogoUnam = uibutton(app.PrincipalTab, 'push');
app.LogoUnam.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, @UNAM,
true);
app.LogoUnam.Icon = 'Unamlogo.jpg';
app.LogoUnam.Position = [15 401 56 58];
app.LogoUnam.Text = '';
% Create LRele
app.LRele = uilamp(app.PrincipalTab);
app.LRele.Position = [271 286 20 20];
app.LRele.Color = [0.9412 0.9412 0.9412];
% Create SecundariaTab
app.SecundariaTab = uitab(app.TabGroup);
app.SecundariaTab.Title = 'Secundaria';
end
end

%%%% Creación de la aplicación %%%%

methods (Access = public)
% Construct app
function app = PruebaMaestra
% Create and configure components
createComponents(app)
% Register the app with App Designer
registerApp(app, app.Angel)
% Execute the startup function
runStartupFcn(app, @startupFcn)
if nargin == 0
clear app
end
end
```

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	14 Octubr 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	6



Ingeniería conceptual, básica, detalle y procura de un sistema modular de flujo de fluidos con intercambio de calor íntegramente monitoreado y controlado con Arduino y Matlab.
Código de la Interfaz Gráfica de Usuario



`% Code that executes before app deletion`

`%%%%% Eliminación de la aplicación %%%%%`

```
function delete(app)
    % Delete UIFigure when app is deleted
    delete(app.Angel)
end
end
end
```

Cuadro de similitudes entre las 2 versiones

Características	Alfa 1.8	Beta 1.0
Monitoreo en tiempo real	✓ Sí (2 sensores)	✓ Sí (22 sensores)
Gráfico dinámico	✓ Sí	✓ Sí
Alarmas	✓ Sí (3)	✓ Sí (28)
Acción sobre relés	✓ Sí (1)	✓ Sí (6)
Secuencia de arranque	✓ Sí (Una etapa)	✓ Sí (5 Etapas)
Exportar datos a Excel	✓ Sí	✓ Sí
Soporte a válvula de control	✗ No	✓ Sí

Revisión		Autor		
A. Gómez		Velázquez Pedroza Ángel	Fecha	14 Octubr 2020
D. Salazar			Versión	Primera
V. Villar			# Documento	6