

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA DESTILADOR DE AGUA MONO
DEST 3000N UTILIZANDO EL SISTEMA EMBEBIDO PSOC 5LP

EDGAR EDUARDO MEDINA BUELVAS

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y TE-
LECOMUNICACIONES
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA



PAMPLONA 2019



DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA DESTILADOR DE AGUA MONO
DEST 3000N UTILIZANDO EL SISTEMA EMBEBIDO PSOC 5LP

EDGAR EDUARDO MEDINA BUELVAS

DIRIGIDA POR:

JULIO CESAR OSPINO ARIAS
INGENIERO ELECTRÓNICO, ESPECIALISTA

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y TE-
LECOMUNICACIONES

PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA



PAMPLONA 2019



DEDICATORIA

Dedicarle todos mis méritos a Dios, por darme la vida, sabiduría, fortaleza y dedicación para lograr llegar donde estoy, por formarme en este proceso de formación profesional con buenos valores y nunca perder el rumbo de mi principal objetivo ser un ingeniero electrónico.

A mis padres y mi hermana que son la motivación del día a día, los que impulsan incondicionalmente y creen en mí todos los días, por ellos y para ellos seguiré esforzándome en conseguir nuevos desafíos y seguir brindada alegría a ellos y a toda la familia.



AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a mis padres por la confianza y el apoyo que depositan en mí, por cada consejo, por cada enseñanza, por apoyarme todos los días a pesar de lo difícil que fuese.

A mi hermana por siempre apoyarme en todos momentos y ser una motivación constante para ser una mejor persona y saber que siempre se puede seguir mejorando.

A mi director de trabajo de grado Ing. Julio Cesar Ospino por estar siempre atento al desarrollo del proyecto de principio a fin, el valioso conocimiento brindando a lo largo de estos años de estudio.

A mi co-directora de trabajo de grado PhD. Alba Lucia Roa por el apoyo y disposición prestada en todo momento, el apoyo, la confianza y cada uno de sus aportes a este proyecto.

A mis amigos y compañeros de la carrera Carlos Adrian, Juan Rodriguez, Johan Hernandez, Helver veloza, los cuales siempre ayudaron en este proceso y con los cuales compartimos miles de experiencia y enseñanzas, de todos aprendí algo y por eso muchas gracias.

A los docentes de Ingeniería Electrónica, por los conocimientos que adquirí gracias a ellos, y las experiencias que nos brindaron.

A la universidad de pamplona por darme la oportunidad de tenerme como estudiante y formarme como un profesional.



RESUMEN

El proyecto planteado consiste en la implementación del sistema embebido Psoc 5LP con el fin de realizar un sistema de control sobre la maquina destiladora de agua Mono Dest 3000N, con la finalidad de aumentar la eficiencia de la maquina reduciendo el consumo de agua potable de esta de manera considerable. Este sistema optimizara el funcionamiento de la maquina proporcionando un desarrollo sostenible en la producción de agua destilada.

El proyecto busca a través de estrategias de control en variables específicas como la temperatura y el nivel, realizar un sistema de reutilización de agua y así dotar a la maquina Mono Dest 3000N de un sistema sostenible que permita a los usuarios generar agua destilada de manera cómoda y sin el excesivo desperdicio de un elemento vital como el agua potable.

Este proyecto genera un gran impacto en el ámbito ambiental, ya que el agua es el líquido más abundante del planeta en la actualidad, pero sólo el 0.02% del agua existente es potable, por lo tanto, el ahorro de este recurso es algo muy importante en el día a día.



ABSTRACT

The proposed project consists of the implementation of the Psoc 5LP embedded system in order to realize a control system on the Mono Dest 3000N water distiller machine, in order to increase the efficiency of the machine by reducing the drinking water consumption of this machine. considerable way. This development will optimize the operation of the machine, providing a sustainable development in the production of distilled water.

The project seeks through control strategies in specific variables such as temperature and level, make a system of water reuse and thus equip the Mono Dest 3000N machine with a sustainable system that allows users to generate distilled water in a comfortable way and without the excessive waste of a vital element such as drinking water.

This project generates a great impact in the environmental field, since water is the most abundant liquid on the planet at present, but only 0.02% of the existing water is potable, therefore, the saving of this is something very important in day to day.



Tabla de contenido

DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCION	15
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	16
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.2 JUSTIFICACIÓN	17
2 OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GENERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3 MARCO TEÓRICO	19
3.1 DESTILACION DE AGUA	19
3.1.1 EVAPORACIÓN	20
3.1.2 CONDENSACIÓN	20
3.1.3 PRECIPITACIÓN	21
4 SISTEMAS EMBEBIDOS	22
4.1 APLICACIONES DE LOS SISTEMAS EMBEBIDOS	22
4.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS EMBEBIDOS	23
4.3 HARDWARE PSOC 5LP	24
4.4 PSOC CREATOR	25
4.5 VENTAJAS DE UNA PSOC	27
5 SISTEMA DE CONTROL	28
5.1 SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO ABIERTO	28
5.2 SISTEMAS DE CONTROL REALIMENTADOS	29
5.3 SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO CERRADO	29
5.4 MODELAMIENTO DE UN SISTEMA	30
6 SISTEMA DE RECIRCULACION DE AGUA	31
6.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL DESTILADOR	32
6.2 VARIABLES DE PROCESO Y SENSORES	33
6.3 TEMPERATURA	34
6.3.1 IMPORTANCIA DEL CONTROL DE TEMPERATURA	34



6.3.2	CRITERIO DE SELECCIÓN SONDA NTC 3470 10K	34
6.3.3	MODULO TERMISTOR Psoc 5LP	35
6.3.4	CARACTERISTICAS DEL MODULO TERMISTOR	36
6.3.5	IMPLEMENTACIÓN	36
6.3.6	RESISTENCIA DE REFERENCIA.....	37
6.3.7	MEDICIÓN DE TEMPERATURA	38
6.3.8	REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN	40
6.4	NIVEL.....	41
6.4.1	IMPORTANCIA DEL CONTROL DE NIVEL.....	41
6.4.2	SENSOR DE NIVEL PUNTUAL	42
6.4.3	SENSOR DE NIVEL CONTINUO	43
6.4.4	CRITERIO DE SELECCIÓN DEL SENSOR HC SR04	43
6.4.5	MÓDULO DE ULTRASONIDO HC SR04.....	44
6.4.6	LECTURA DE NIVEL CONTINUO Y CALIBRACIÓN HC-SR04.....	45
6.4.7	MEDICIÓN DE NIVEL HC SR04.	46
6.5	FLUJO Y PRESIÓN.....	48
6.5	DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL.....	53
6.5.1	DESCRIPCION DEL FUNCIOANMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL.	53
6.5.2	CIRCUITOS DE POTENCIA	59
6.5.3	ACTIVACIONES EN DC.....	59
6.5.4	ACTIVACIONES EN AC.....	65
6.6	INTERFACE HMI.....	72
6.6.1	PANTALLA NOKIA 5110	73
6.6.2	TECLADO MATRICIAL.....	77
7	RESULTADOS	80
7.1	MEDICION DE VARIBALES ADQUIRIDAS.....	80
7.2	RESULTADOS INTERFACE HMI Y METODOLOGIA DE FUNCIONAMIENTO	86
7.3	COMPARATIVA CON EL SISTEMA SIN CONTROL	91
7.3.1	POTENCIA PROMEDDIO	92
7.3.2	VENTAJA Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA DE CONTROL EN MAQUINA MONO DEST 3000N	93
7.3.3	DESTOS TECNICOS DESTILADOR CONTROLADO	94
7.3.4	CALIDAD DEL AGUA DESTILADA	95
7.4	COSTO BENEFICIO	96



CONCLUSIONES.....	97
ANEXOS.....	99
Bibliographic	108

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Procedimiento destilación simple (paz, 2012)	19
Ilustración 2 PSoC 5LP Prototyping Kit detalle de pines (Cypress, 2017).....	24
Ilustración 3 Características de PSoC Creator (Corporation, 2015).....	26
Ilustración 4 Lazo cerrado (ogata, 2010)	30
Ilustración 5 Proceso de recirculación (fuente autor)	31
Ilustración 6 Recorrido del agua(fuente autor)	32
Ilustración 7 Datos técnicos Mono Dest 3000N (Brand, 2004).....	33
Ilustración 8 Sonda NTC 3407 (Semiconducto, Thermistor Calculator Component Datasheet, 2016)	35
Ilustración 9 Modulo termistor Psoc 5lp (Semiconducto, Thermistor Calculator Component Datasheet, 2016).....	35
Ilustración 10 Configuración modulo termistor (Semiconducto, Thermistor Calculator Component Datasheet, 2016).....	37
Ilustración 11 Esquema de medición temperatura (Cypress, 2017)	38
Ilustración 12 Hoja característica termistor 10K (Semiconducto, Thermistor Calculator Component Datasheet, 2016).....	39
Ilustración 13 Refrigeración por compresión (Arnabat, 2018).....	40
Ilustración 14 Detector de nivel	42
Ilustración 15 HC SR04 (elec freaks.com).....	44



Ilustración 16	diagrama de tiempo (elecbreaks.com)	45
Ilustración 17	TIMER-REGISTRO (fuente autor)	45
Ilustración 18	Medición nivel continuo (fuente autor)	46
Ilustración 19	Distancia vs Litros fuente : autor	47
Ilustración 20	Yf-s201 (SEA, 2016)	50
Ilustración 21	Recirculación de agua. Fuente: autor	53
Ilustración 22	Lazo cerrado control de temperatura	56
Ilustración 23	Respuesta del sistema y activación On/Off	56
Ilustración 24	Lazo cerrado control de nivel	57
Ilustración 25	Respuesta del sistema activación on/off	57
Ilustración 26	Lazo cerrado control de nivel continuo	58
Ilustración 27	respuesta del sistema activación ON/OFF	58
Ilustración 28	Pre diseño activación DC	59
Ilustración 29	hoja de características tip142 (semiconductor, 2016)	60
Ilustración 30	SSR-40DA (controls, 2018)	65
Ilustración 31	SSR internamente (controls, 2018)	66
Ilustración 32	Activaciones SSR (controls, 2018)	67
Ilustración 33	Pre diseño activación SSR fuente: autor	67
Ilustración 34	Hoja de datos 2n2222A (SEMICONDUCTORS, 1999)	68
Ilustración 35	Diseño Activación SSR (fuente: autor)	72
Ilustración 36	Pantalla nokia 5110 (SEMICONDUCTORS, 1999)	73
Ilustración 37	Protocolo SPI (Navarro, 2014)	74
Ilustración 38	Módulo SPI Master(fuente: autor)	75



Ilustración 39 Configuración de módulo SPIMASTER (autor)-----	76
Ilustración 40 Teclado matricial (SEMICONDUCTORS, 1999)-----	77
Ilustración 41 teclado matricial 4x4-----	78
Ilustración 42 librería keypad (autor) Ilustración 43 Función del teclado(autor)-----	79
Ilustración 44 Visualización temperatura NTC 3704 10K a (fuente: auto) -----	80
Ilustración 45 Visualización de temperatura NTC 3704 10K b (fuente: auto)-----	80
Ilustración 46 Temperatura vs tiempo Refrigeración (fuente: auto)-----	81
Ilustración 47 Temperatura vs tiempo Calentamiento (fuente: auto)-----	82
Ilustración 48 Medición de nivel continuo hc sr04(fuente: auto) -----	83
Ilustración 49 Visualización nivel bajo tanque de refrigeración (fuente: auto)-----	84
Ilustración 50 Visualización de nivel alto tanque de refrigeración (fuente: auto)-----	84
Ilustración 51 Visualización nivel bajo en resistencia de calefacción(fuente: auto)-----	85
Ilustración 52 Visualización nivel alto en resistencia de calefacción(fuente: auto) -----	85
Ilustración 53 Presentación de inicio de la máquina(fuente: auto) -----	86
Ilustración 54 Solicitud de cantidad de agua a destilar(fuente: auto) -----	86
Ilustración 55 Usuario ingresa un valor superior al indicado (fuente: auto) -----	87
Ilustración 56 Error por ingresar un valor superior al límite (fuente: auto) -----	87
Ilustración 57 La cantidad de agua deseada se encuentra disponible en el tanque de almacenamiento (fuente: auto) -----	88
Ilustración 58 Acción de verificación tanque de refrigeración(fuente: auto) -----	89
Ilustración 59 Acción de verificación nivel de resistencia (fuente: auto)-----	90
Ilustración 60 Acción de verificación temperatura (fuente: auto) -----	90
Ilustración 61 Potencia promedio -----	92

Ilustración 62 PCB Control -----	99
Ilustración 63PCB potencia -----	99
Ilustración 64PCB sensor de nivel puntual-----	100
Ilustración 65 SSR conexiones -----	100
Ilustración 66 Unidad de enfriamiento -----	101
Ilustración 67Pruebas de funcionamiento -----	101
Ilustración 68programacion en bloque termistor- Adc-A.O. -----	102
Ilustración 69 Plano P&ID -----	103
Ilustración 70 Interface HMI-----	103
Ilustración 71Programación en bloque pantalla-teclado -----	104
Ilustración 72Programación en bloquehcsr04 -----	106



LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Comandos modulo termistor (Semiconducto, Thermistor Calculator Component Datasheet, 2016)	39
Tabla 2 Distancia vs Litros	47
Tabla 3 Datos técnicos presión y flujo (Brand, 2004)	48
Tabla 4 datos técnicos electrobomba	49
Tabla 5 Datos técnicos electroválvula.....	49
Tabla 6 características yf-s201 (SEA, 2016).....	51
Tabla 7 Temperatura vs tiempo Refrigeración.....	81
Tabla 8 Temperatura vs tiempo Calentamiento	82
Tabla 9 Comparativa control vs sin control	91
Tabla 10 Lista de materiales y precios	96



INTRODUCCION

El siguiente trabajo de grado fue llevado a cabo en la universidad de pamplona, norte de Santander, bajo la modalidad de tesis, donde se diseñó e implemento un prototipo de control automatico para el destilador de agua mono dest 3000N.

Durante el proceso es importante mantener el control de algunas variables, las cuales desempeñan el correcto funcionamiento de la máquina, mediante la observación y la consulta bibliográfica se concluye que las variables más influyentes son: Temperatura, nivel, flujo y presión.

A continuación, se presenta el porqué de realizar este proyecto, así como el tipo de control que se va a realizar y la solución encontrada a la problemática expuesta.

Mediante este proyecto se quiere crear conciencia sobre la importancia que tiene el aprovechamiento de los recursos, el ahorro del agua y como la ingeniería electrónica puede solucionar problemáticas reales en el entorno local, así apoyar los objetivos de desarrollo sostenible a nivel mundial.



1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y

JUSTIFICACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua destilada es uno de los insumos más críticos en el funcionamiento de un laboratorio químico, ya que se utiliza en algunos procesos tales como la preparación de medios de cultivos, pruebas físico químicas, purga de materiales, etc. El destilador Mono Dest 3000N se utiliza en el laboratorio de Microbiología de la Universidad de Pamplona para proporcionar agua destilada muy baja en sólidos, lo que es esencial en los procesos practicados en el laboratorio.

Sin embargo, la producción de este líquido tiene una deficiencia crítica, la cual es, el alto de consumo de agua potable. El funcionamiento de la máquina se basa en un proceso de destilación simple, que cuenta con tres etapas básicas: evaporación, condensación y precipitación.

En la etapa de evaporación, el destilador calienta el agua hasta su punto de ebullición, el vapor producido asciende por la máquina, para entrar a la etapa de condensación en la parte superior de la misma, y luego pasar a la etapa de enfriamiento donde unas espirales presentes en ella devuelven el vapor de agua a su estado líquido. Aquí, el agua destilada se precipita a través de las paredes fluyendo por una manguera para ser almacenada.

El detalle crítico de este ciclo de producción es la no reutilización del agua potable en el proceso. El consumo diario de agua destilada en un laboratorio de química o biología es variable dependiendo las actividades a realizar, pero en promedio para la Universidad de Pamplona, se requieren diariamente entre 15 y 40 litros. Considerando que para obtener un litro de agua destilada se consume aproximadamente 70 litros de agua potable, implica que en un laboratorio que cuente



con esta máquina se gastarían en promedio entre 1050 y 2800 litros de agua potable, lo que causa un impacto ambiental negativo.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo encuentra justificación a partir de la problemática expuesta anteriormente ya que a pesar de que el agua es el líquido más abundante del planeta en la actualidad sólo el 0.02% del agua existente es potable, pero con el crecimiento de la población, la cantidad de agua potable se reduce año tras año.

Por lo anterior, es imperativo generar un ahorro significativo en el consumo de agua potable a través del desarrollo sostenible, con el uso de equipos que sean más eficientes y sistemas que usen la menor cantidad de agua posible.

Debido a esto, es evidente la necesidad de optimizar el proceso de destilación utilizado en el laboratorio de microbiología de la Universidad de Pamplona a través de un sistema de control que permita reducir el consumo excesivo de agua potable. Así, este trabajo genera un aporte real e importante a la reducción del impacto ambiental generado por el desperdicio de agua, añadiendo comodidad al usuario al momento de usar el equipo de destilación, y genera conciencia ambiental sobre el malgasto del agua.

Además, este trabajo promueve la interdisciplinariedad entre facultades y demuestra como la ingeniería electrónica puede brindar soluciones importantes a problemáticas internas de la Universidad.



2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema de control para destilador de agua Mono Dest 3000N utilizando el sistema embebido Psoc5LP.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la caracterización del proceso de destilación de agua realizado por la máquina Mono Dest 3000N.
- Desarrollar un sistema de control basado en el sistema embebido PSoC 5LP sobre el proceso de reutilización del agua, capaz de mantener el proceso en condiciones estables durante el proceso de destilación.
- Desarrollar una interface HMI integrada al proceso, en la cual el usuario pueda solicitar la cantidad de agua destilada deseada y conocer las condiciones del proceso.
- Validar el sistema de control a través de la implementación y realización de pruebas de funcionamiento para posteriormente analizar resultados obtenidos.
- Realizar el análisis Costo-Beneficio-Riesgo de la solución propuesta



3 MARCO TEÓRICO

3.1 DESTILACION DE AGUA

La destilación es un método comúnmente utilizado para la purificación de líquidos y la separación de mezclas con el fin de obtener sus componentes individuales. La destilación es una técnica de separación de sustancias que permite separar los distintos componentes de una mezcla. Esta técnica se basa fundamentalmente en los puntos de ebullición de cada uno de los componentes de la mezcla. (quimico, 2018)

El funcionamiento de un destilador está basado en un fenómeno que se presenta libremente en la naturaleza y es conocido como el ciclo del agua. La energía proveniente del sol calienta el agua de los mares y transforma parte de la misma en vapor de agua. Dicho vapor se concentra en nubes que, cuando las condiciones atmosféricas son adecuadas, se enfría y condensa, volviendo a la superficie en forma de lluvia. En la Ilustración1 (paz, 2012) se muestra el proceso típico de destilación de agua. (paz, 2012)

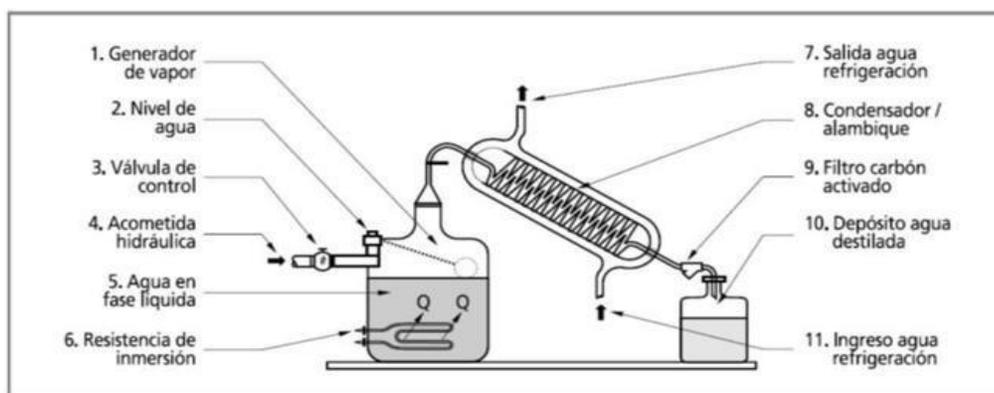


Ilustración 1 Procedimiento destilación simple (paz, 2012)

3.1.1 EVAPORACIÓN

La técnica consiste en calentar la mezcla hasta que ésta entra en ebullición. A medida que la mezcla se calienta, la temperatura aumenta hasta que alcanza la temperatura de la sustancia con punto de ebullición más bajo, en este momento la sustancia cambia su estado de líquido a gaseoso, mientras que los otros componentes de la mezcla permanecen en su estado original. (quimico, 2018)

En la máquina este proceso se realiza por medio de una resistencia de calefacción que está en contacto directo con el agua.

3.1.2 CONDENSACIÓN

En este proceso se da el cambio en la materia de una sustancia a una fase más densa, como por ejemplo de gas (o vapor) a líquido. La condensación generalmente ocurre cuando un vapor se enfría, pero también puede ocurrir si se comprime (es decir, si se aumenta la presión) o se somete a una combinación de refrigeración y compresión. Al vapor que ha sido condensado de un líquido se le llama condensado. El dispositivo o la unidad donde se condensan los vapores en el líquido se llama condensador. Los condensadores se usan en intercambiadores de calor que tienen diversos diseños y tamaños. (Pérez, 2017)

En la máquina este proceso se realiza a partir de la entrada de agua a un serpentín interno de la máquina a una temperatura menor a 20°C.



3.1.3 PRECIPITACIÓN

La precipitación es cualquier producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la Tierra. Ocurre cuando la atmósfera (que es una gran solución gaseosa) se satura con el vapor de agua, y el agua se condensa y cae de la solución (es decir, precipita). El aire se satura a través de dos procesos: por enfriamiento y añadiendo humedad. La precipitación que alcanza la superficie de la tierra puede producirse en muchas formas diferentes, como lluvia, lluvia congelada, llovizna, nieve, aguanieve y granizo. La virga es la precipitación que comienza a caer a la tierra pero que se evapora antes de alcanzar la superficie. (Pérez, 2017)

En la máquina, el agua precipitada se desliza por las paredes y es recogida por un cristal que hace descender a esta por una manguera hasta su recipiente final.



4 SISTEMAS EMBEBIDOS

Un sistema embebido empotrado es un sistema de computación diseñado para realizar una o algunas pocas funciones dedicadas frecuentemente en un sistema de computación en tiempo real. Los sistemas embebidos se utilizan para usos muy diferentes a los usos generales a los que se suelen someter a las computadoras personales. En un sistema embebido la mayoría de los componentes se encuentran incluidos en la placa base (la tarjeta de vídeo, audio, módem, etc.) aunque muchas veces los dispositivos no lucen como computadoras, por ejemplo relojes de taxi, registradores, controles de acceso entre otras múltiples aplicaciones. (ecured.cu, 2017)

4.1 APLICACIONES DE LOS SISTEMAS EMBEBIDOS

Los lugares donde se pueden encontrar los sistemas embebidos son numerosos y de varias naturalezas. A continuación, se exponen varios ejemplos para ilustrar las posibilidades de los mismos:

- En una fábrica, para controlar un proceso de montaje o producción. Una máquina que se encargue de una determinada tarea puede contener numerosos circuitos electrónicos y eléctricos para el control de motores, hornos, etc. que deben ser gobernados por un procesador, el cual ofrece una interfaz persona-máquina para ser dirigido por un operario e informarle al mismo de la marcha del proceso.
- Puntos de servicio o venta (POS, point of sale). Las cajas donde se paga la compra en un supermercado son cada vez más completas, integrando teclados numéricos, lectores de códigos de barras mediante láser, lectores de tarjetas bancarias de banda magnética o chip, pantalla alfanumérica de cristal líquido, etc. El sistema embebido en este caso requiere

numerosos conectores de entrada y salida y unas características robustas para la operación continuada.

- Puntos de información al ciudadano. En oficinas de turismo, grandes almacenes, bibliotecas, etc. existen equipos con una pantalla táctil donde se puede pulsar sobre la misma y elegir la consulta a realizar, obteniendo una respuesta personalizada en un entorno gráfico amigable.
- Decodificadores y set-top boxes para la recepción de televisión. Cada vez existe un mayor número de operadores de televisión que aprovechando las tecnologías vía satélite y de red de cable ofrecen un servicio de televisión de pago diferenciado del convencional. En primer lugar envían la señal en formato digital MPEG-2 con lo que es necesario un procesado para decodificarla y mandarla al televisor. Además, viaja cifrada para evitar que la reciban en claro usuarios sin contrato, lo que requiere descifrarla en casa del abonado. También ofrecen un servicio de televisión interactiva o web-TV que necesita de un software específico para mostrar páginas web y con ello un sistema basado en procesador con salida de señal de televisión. (ecured.cu, 2017)

4.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS EMBEBIDOS

Las principales características de un Sistema Embebido son el bajo costo y consumo de potencia. Dado que muchos sistemas embebidos son concebidos para ser producidos en miles o millones de unidades, el costo por unidad es un aspecto importante a tener en cuenta en la etapa de diseño.

Un Sistema Embebido está conformado por un microprocesador y un software que se ejecuta sobre él mismo. Sin embargo, este software necesita un lugar donde pueda guardarse para luego ser ejecutado por el procesador. Esto podría tomar la forma de memoria RAM o ROM, la cual cierta cantidad es utilizada por el Sistema Embebido. (Cypress, 2017)



4.3 HARDWARE PSoC 5LP

La placa de destino utiliza el dispositivo de la familia PSoC 5LP. PSoC 5LP es el producto más integrado de la industria programable PSoC, integrando periféricos analógicos y digitales de alta precisión y programables, y una CPU ARM® Cortex™ -M3. El PSoC 5LP cuenta con un procesador analógico a digital de alta precisión convertidor (ADC), amplificadores programables, subsistema digital flexible, procesamiento paralelo sin igual bloque de filtros digitales (DFB), periféricos de alto rendimiento como DMA, CAN y USB, y periféricos estándar de comunicación y sincronización. Los subsistemas analógicos y digitales programables permiten flexibilidad y ajuste en el campo del diseño. (Cypress, 2017)

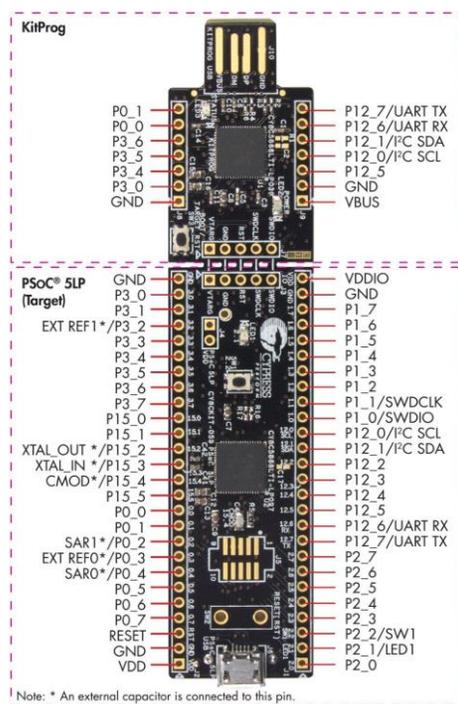


Ilustración 2 PSoC 5LP Prototyping Kit detalle de pines (Cypress, 2017)

4.4 PSoC CREATOR

PSoC Creator es un entorno de diseño integrado (IDE) que permite la edición simultánea de hardware y firmware, compilación y depuración de sistemas PSoC y FM0+. Las aplicaciones se crean mediante la captura esquemática y más de 150 componentes periféricos pre-verificados y preparados para la producción. Los componentes son periféricos analógicos y digitales representados por un símbolo que los usuarios arrastran y sueltan en sus diseños y configuran para adaptarse a una amplia gama de requisitos de aplicación.

Cada Componente en el rico Catálogo de Componentes de Cypress de Señal Mixta se configura con un diálogo de personalización e incluye un conjunto completo de bibliotecas de API generadas dinámicamente. Después de configurar todos los periféricos, el firmware puede ser escrito, compilado y depurado dentro de PSoC Creator o exportado a IDEs de terceros líderes como IAR Embedded Workbench®, ARM® Microcontroller Development Kit y Eclipse™. Los sistemas PSoC y FM0+, optimizan la energía más allá de una MCU típica porque PSoC Creator optimiza los diseños para permitir sólo la funcionalidad requerida. Los usuarios pueden incluso crear componentes personalizados utilizando diagramas de máquina de estado o Verilog para optimizar aún más el uso de hardware y energía. (Corporation, 2015)

PSoC Creator

- Diseño de hardware con captura esquemática completa y herramienta de cableado fácil de usar
- Más de 150 componentes pre-verificados y listos para la producción
- Biblioteca de comunicaciones completa incluyendo I2C, USB, UART, SPI, CAN, LIN y Bluetooth Low Energy



- Periféricos digitales con potentes herramientas de configuración gráfica
- Amplio soporte de cadena de señal analógica con amplificadores, filtros, ADC y DAC
- Bibliotecas de API generadas dinámicamente
- C compilador de código fuente gratuito sin limitaciones de tamaño de código
- Editor de fuentes integrado con diagnósticos en línea, autocompletado y fragmentos de código

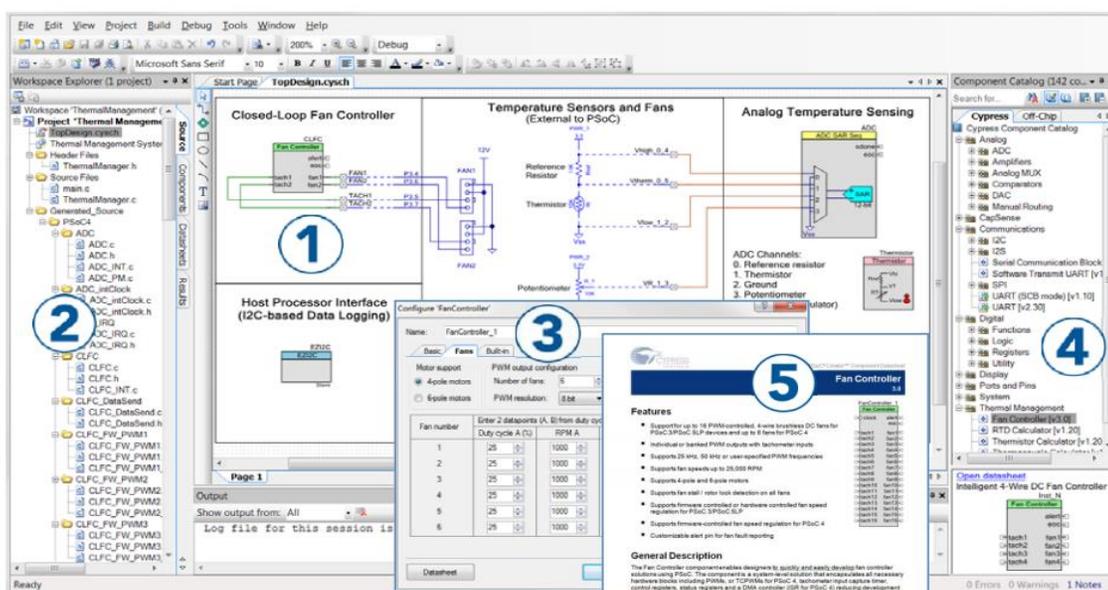


Ilustración 3 Características de PSoC Creator (Corporation, 2015)

1. Arrastrar y soltar Componentes para construir el diseño del sistema de hardware en el área de trabajo de diseño principal
2. Firmware de su aplicación con el hardware PSoC
3. Configuración de componentes mediante herramientas de configuración
4. Biblioteca de componentes
5. Datasheet de los componentes

4.5 VENTAJAS DE UNA PSoC

Los PSoC tiene una gran cantidad de ventajas que supera a muchas familias de microcontroladores, algunas se enumeran enseguida

- Dispone de más de 100 componentes analógicos y digitales que pueden configurarse en el mismo chip, de acuerdo a las necesidades del usuario
- Este tipo de arquitectura es muy flexible, ya que me permite cambiar las configuraciones de los periféricos analógicos y/o digitales según nuestras necesidades o si los resultados obtenidos no son satisfactorios. Estas configuraciones se realizan vía software.
- Con los PsoC podemos diseñar hasta cierto punto un amplio conjunto de aplicaciones, aprovechando la alta escala de integración tanto de los componentes analógicos como digitales en un solo chip, logrando la reducción significativa del circuito electrónico, así como sus costos y el tiempo de desarrollo del mismo. (Corporation, 2015)



5 SISTEMA DE CONTROL

El control automático ha desempeñado un papel vital en el avance de la ingeniería y la ciencia. El control automático se ha convertido en una parte importante e integral en los sistemas de vehículos espaciales, en los sistemas robóticos, en los procesos modernos de fabricación y en cualquier operación industrial que requiera el control de temperatura, presión, humedad, Flujo, etc. Es deseable que la mayoría de los ingenieros y científicos estén familiarizados con la y la práctica del control automático. (ogata, 2010)

5.1 SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO ABIERTO.

Los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control se denominan sistemas de control en lazo abierto. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. Un ejemplo práctico es una lavadora. El remojo, el lavado y el centrifugado en la lavadora operan con una base de tiempo. La máquina no mide la señal de salida, que es la limpieza de la ropa.

En cualquier sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia. Así, a cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fija; como resultado de ello, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada. En la práctica, el control en lazo abierto sólo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas. Es evidente que estos sistemas no son de control realimentado. Obsérvese que cualquier sistema de control que opere con una base de tiempo está en lazo abierto. Por ejemplo, el control de tráfico mediante señales operadas con una base de tiempo es otro ejemplo de control en lazo abierto. (ogata, 2010)



5.2 SISTEMAS DE CONTROL REALIMENTADOS.

Un sistema que mantiene una relación determinada entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control, se denomina sistema de control realimentado. Un ejemplo sería el sistema de control de temperatura de una habitación. Midiendo la temperatura real y comparándola con la temperatura de referencia (temperatura deseada), el termostato activa o desactiva el equipo de calefacción o de enfriamiento para asegurar que la temperatura de la habitación se mantiene en un nivel confortable independientemente de las condiciones externas. (ogata, 2010)

5.3 SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO CERRADO.

Los sistemas de control realimentados se denominan también sistemas de control en lazo cerrado. En la práctica, los términos control realimentado y control en lazo cerrado se usan indistintamente. En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación, con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema. Una ventaja del sistema de control en lazo cerrado es que el uso de la realimentación vuelve la respuesta del sistema relativamente insensible a las perturbaciones externas y a las variaciones internas en los parámetros del sistema. Es así posible usar componentes relativamente poco precisos y baratos para obtener el control adecuado de una planta determinada, mientras que hacer eso es imposible en el caso de un sistema en lazo abierto. (ogata, 2010)



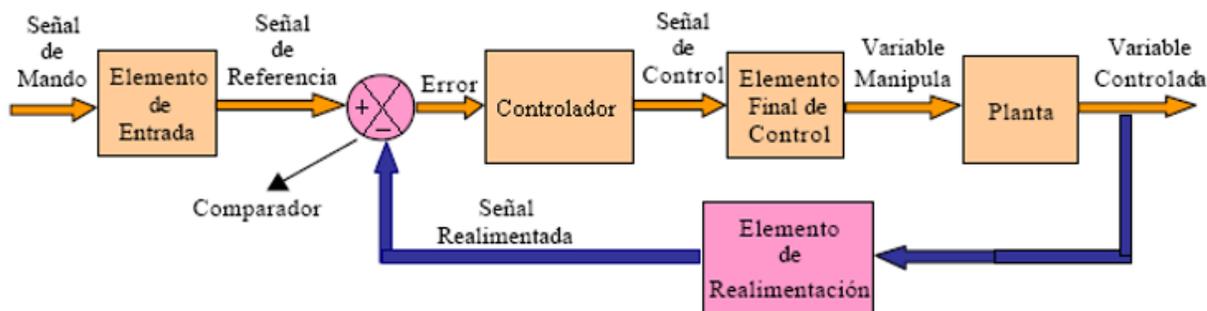


Ilustración 4 Lazo cerrado (ogata, 2010)

5.4 MODELAMIENTO DE UN SISTEMA

El objetivo de modelar un sistema, de caracterizarlo matemáticamente consiste en llegar a describirlo en la forma más completa, exacta y sencilla posible, para posteriormente analizarlo y poder realizar diseños de controladores de tal manera que su funcionamiento se adecue a los requerimientos de diseño. El modelo matemático se basa en una o varias ecuaciones que representan el comportamiento del sistema, pero no representan un único modelo, pues se pueden lograr representaciones diferentes del mismo sistema que no contradicen una a la otra. Sin embargo, es útil encontrar el modelo que proporcione información de interés para cada problema en particular. Las consideraciones y aproximaciones se realizan con base en las simulaciones iterativas de las respuestas que el modelo presenta con respecto a las que debería tener el sistema real. De la escogencia de estas se obtiene un modelo del sistema sobre el cual se realizará un controlador que tendrá éxito según la exactitud del modelo especificado. (HECTOR IVÁN REYES SIERRA, 2010)

6 SISTEMA DE RECIRCULACION DE AGUA

Los sistemas cerrados con tratamiento y recirculación de agua son utilizados comúnmente en los laboratorios de investigación, en el cultivo y mantenimiento de peces ornamentales y en grandes acuarios públicos y privados, en todo el mundo. A partir de la década del '80, los estudios objetivando el uso de sistemas de recirculación se intensificó en Japón, Estados Unidos, Israel y otros países europeos. (F, 2016)

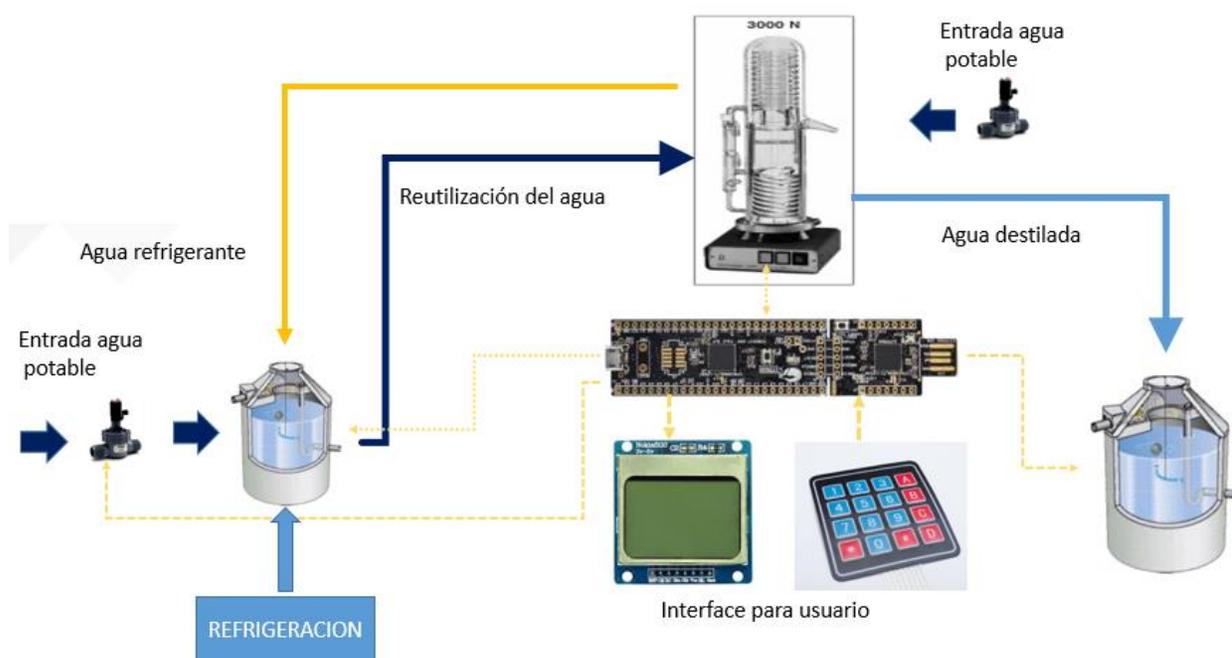


Ilustración 5 Proceso de recirculación (fuente autor)

El sistema de recirculación de agua, nos permitirá aprovechar el agua de refrigeración la cual es desperdiciada una vez termina su recorrido por el serpentín, para ser reutilizada en la misma etapa de condensación, de esta forma se ahorrarán grandes cantidades de agua para la producción de agua destilada, para que este sistema sea eficiente se deben cumplir ciertas condiciones las cuales serán el objetivo principal de los sistemas de control utilizados en esta etapa.

6.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL DESTILADOR

Se cuenta con una máquina Mono Dest 3000N en el laboratorio de microbiología de la Universidad de Pamplona para proporcionar agua destilada muy baja en sólidos, la puesta en marcha de la maquina inicia suministrando un flujo de agua constante a la máquina, el agua ingresa y recorre el serpentín de enfriamiento de arriba hacia abajo, para descender por los conductos de la maquina en dirección a la entrada de la resistencia calefactora, cuando esta se encuentre totalmente sumergida en agua la presión ejercida por la altura alcanzada hace que el exceso de agua salga para “controlar” el **nivel** de agua en la resistencia y la maquina no se llene de agua.

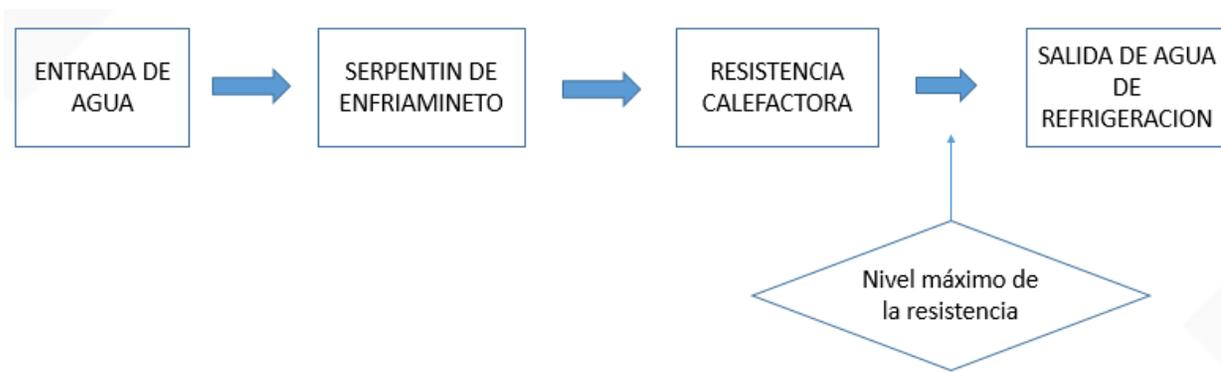


Ilustración 6 Recorrido del agua(fuente autor)

La resistencia calefactora es la encargada de realizar el proceso de evaporación en la máquina, la cual elevará la **temperatura** a unos 96°C transcurridos alrededor de 3 minutos y por ende el agua empezará a hervir.

El vapor de agua asciende por la maquina hasta llegar a la parte superior, aquí entra en contacto con el serpentín de enfriamiento por el cual recorre agua a una temperatura menor a 20°C y de

esta forma se produzca la condensación del agua, para así obtener el agua destilada tras la precipitación de esta por las paredes de la máquina.

6.2 VARIABLES DE PROCESO Y SENSORES

En el apartado anterior se logró apreciar el funcionamiento de la máquina y como las variables de temperatura y nivel son fundamentales en este, no obstante, estas no son las únicas a tener en cuenta para realiza el control del proceso como tal, pues al revisar las fichas técnicas de la máquina y por medio de la observación del proceso se determina que el flujo y la presión también son variables importantes para el funcionamiento de la máquina.

Datos técnicos

		MonoDest 3000 N	MonoDest 3000 E
consumo	W aprox.	3000	3000
corriente nominal	A aprox.	14	14
voltaje	V/Hz	220-240 / 50-60	220-240 / 50-60
conexión a agua de la red presión mínima del agua	bar	2	2
cantidad de destilado al trabajar con agua de la red	l/h	4,2	4,2
con agua deionizada	l/h	4,0	4,0
conductividad del destilado referida a 25 °C	µS/cm	1,5*	0,7*
temperatura del destilado	°C	96	96
caudal de agua de refrigeración al trabajar con agua de la red	l/h	45	45
con agua deionizada	l/h	55	55
temperatura del agua de refrigeración: entrada	°C	16	16
salida al trabajar con agua de la red	°C	64	64
con agua deionizada	°C	48	48
calefactor	material	acero inoxidable 1.4529	acero inoxidable 1.4529
partes de vidrio	material	Boro 3.3	Boro 3.3
altura	mm	600	750
espacio necesario (sin frasco de recogida para destilado)	mm	220 x 220	220 x 220
peso	kg	6	6

Ilustración 7 Datos técnicos Mono Dest 3000N (Brand, 2004)

A continuación, se describirán la importancia de las variables y la forma de medir cada una de estas.



6.3 TEMPERATURA

6.3.1 IMPORTANCIA DEL CONTROL DE TEMPERATURA

En la implementación del sistema de recirculación de agua es necesario realizar un control de temperatura debido a las condiciones de trabajo de la maquina Mono Dest 3000N, la temperatura de refrigeración de la maquina al momento de terminar su recorrido por el serpentín, alcanzan temperaturas muy elevadas, las cuales pueden llegar hasta los 60°C después de 10 minutos de trabajo, es evidente que a esta temperatura el agua no puede ser utilizada para la refrigeración, ya que no cumpliría el proceso de condensación. para que el agua cumpla este proceso debe estar en un rango de temperatura menor a 25 grados centígrados, para conseguir estas circunstancias se aplica un control ON/OFF sobre la temperatura del agua, este tipo de control es válido para esta aplicación debido a que tener una gran precisión en un valor específico de temperatura no es tan importante en este proceso, la acción de control se realizará por medio de una unidad de enfriamiento por presión, el intercambio térmico entre el agua y la tubería de cobre baja temperatura provocara que la temperatura descienda.

6.3.2 CRITERIO DE SELECCIÓN SONDA NTC 3470 10K

Este es un sensor de temperatura NTC de un valor de resistencia de 10KOhm $\pm 1\%$, posee un cable de conexión de 1 metro de longitud, proporcionando un excelente rendimiento y estabilidad. Este sensor puede medir temperaturas en un rango de -40°C a 120°C lo cual está dentro del rango de temperatura deseado para la aplicación del control, además puede utilizarse para la medición de líquidos lo cual es idóneo para esta aplicación. Este sensor suele ser utilizado en auto acondicionadores, refrigeradores, congeladores, calentadores de agua, dispensadores de agua, calentadores, lavadoras, secadoras y horno de baja temperatura. (Semiconductor, Thermistor Calculator Component Datasheet, 2016)





Ilustración 8 Sonda NTC 3407 (Semiconducto, Thermistor Calculator Component Datasheet, 2016)

6.3.3 MODULO TERMISTOR Psoc 5LP

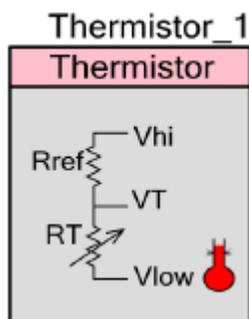


Ilustración 9 Modulo termistor Psoc 5lp (Semiconducto, Thermistor Calculator Component Datasheet, 2016)

Para la medición de temperatura usando este tipo de sensor, se utiliza el módulo de termistor del psoc 5lp el cual calcula la temperatura basándose en un voltaje proporcionado medido desde un termistor. El componente es adaptable a la mayoría de los termistores NTC. Calcula los coeficientes de la ecuación de Steinhart-Hart según el rango de temperatura y las correspondientes resistencias de referencia proporcionadas por el usuario. El componente proporciona funciones API que utilizan los coeficientes generados para devolver el valor de temperatura en función de los valores de voltaje medidos. (Semiconducto, Thermistor Calculator Component Datasheet, 2016)

6.3.4 CARACTERISTICAS DEL MODULO TERMISTOR

- Adaptable para la mayoría de los termistores de coeficiente de temperatura negativo (NTC)
- Tabla de consulta (LUT) o métodos de implementación de ecuaciones
- Resistencia de referencia seleccionable, basada en el valor del termistor
- Rango de temperatura seleccionable
- Resolución de cálculo seleccionable para el método LUT

6.3.5 IMPLEMENTACIÓN

Puede obtener la temperatura a través de la ecuación o LUT. Las compensaciones entre los dos métodos son memoria, velocidad, rango y resolución. El método de ecuación es más preciso y tiene un rango fijo y precisión. El método de ecuación usa más memoria porque requiere la biblioteca de matemáticas de punto flotante. La LUT usa menos memoria y tiene un tiempo de respuesta más rápido por defectos es la ecuación. Resolución de cálculo ($^{\circ}$ C)

Si elige la implementación de LUT, este parámetro se activa para proporcionar la LUT exactitud de la temperatura. La precisión especificada por este parámetro es la precisión de la medición de temperatura. Esta implica que la precisión corresponde a la conversión de la tensión a temperatura. Lo que no tiene en cuenta las otras imprecisiones del sistema, como la tolerancia de la referencia Resistencia, variación de la tensión de referencia, o la precisión del ADC.



Suponiendo una medición de voltaje precisa, este parámetro proporciona la precisión de la salida de temperatura del componente. (Semiconducto, Thermistor Calculator Component Datasheet, 2016)

6.3.6 RESISTENCIA DE REFERENCIA

La resistencia de referencia está conectada al termistor, como se muestra en el símbolo, para el constante tipo de voltaje de medición de temperatura. El Rref y el RT se pueden intercambiar para obtener aumentando o disminuyendo los valores de voltaje con temperaturas crecientes. Idealmente, el valor de la resistencia de referencia debe ser igual al valor del termistor en el medio de la temperatura rango requerido (Semiconducto, Thermistor Calculator Component Datasheet, 2016)

Rango = 1Ω a $1G\Omega$ (predeterminado 10000).

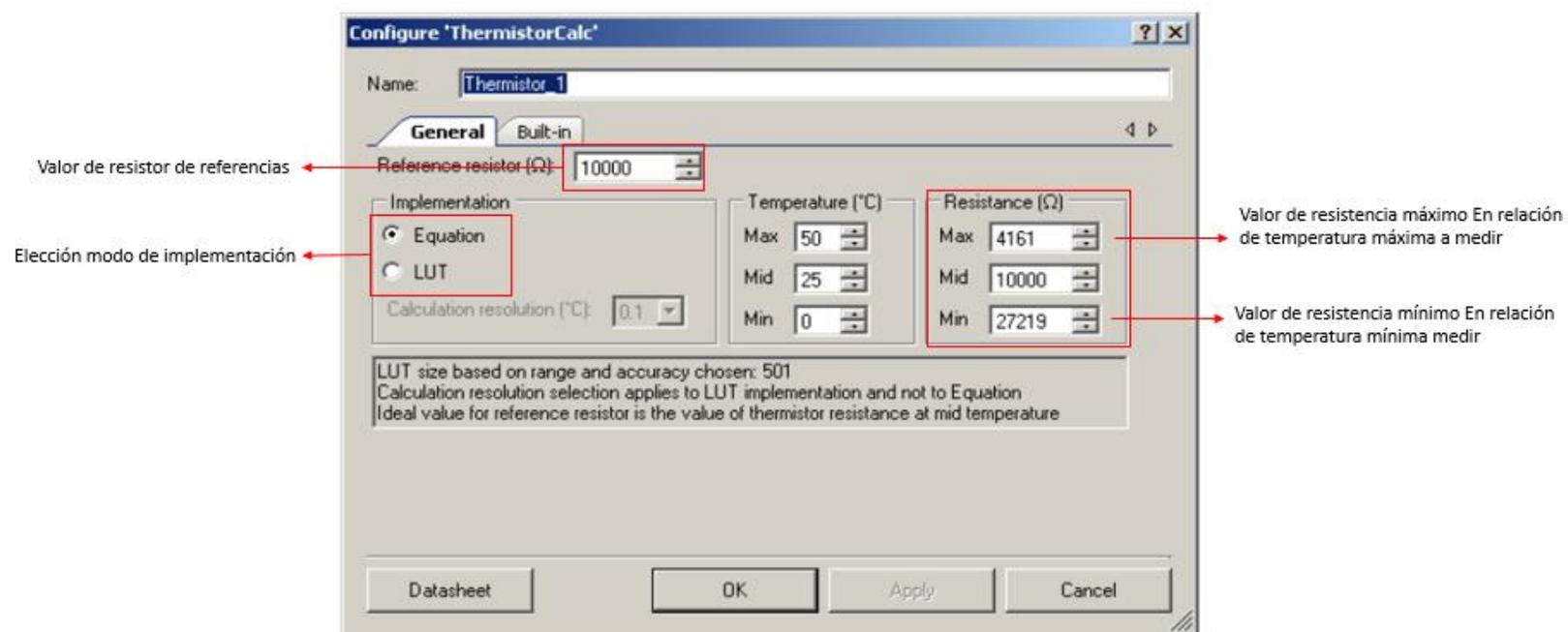


Ilustración 10 Configuración modulo termistor (Semiconducto, Thermistor Calculator Component Datasheet, 2016)

6.3.7 MEDICIÓN DE TEMPERATURA

Para la medición de temperatura usando el módulo termistor que incluye el PsoC 5lp, se implementó el esquema presente en la ilustración, muestra el divisor de tensión utilizado, en el cual, por medio de un conversor análogo digital se tomara la medida de voltaje de referencia y el voltaje del termistor, en función de este voltaje y utilizando el módulo termistor se calcula el valor de temperatura actual en el sensor.

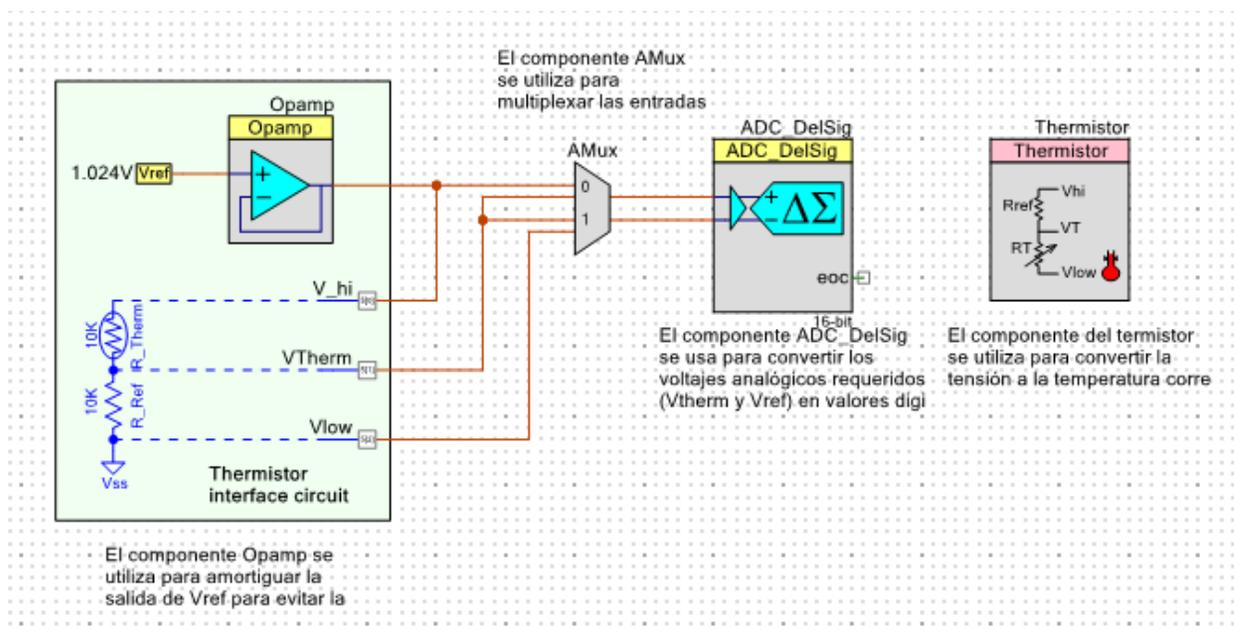


Ilustración 11 Esquema de medición temperatura (Cypress, 2017)

Una vez realizado el montaje se ajustan los parámetros de implementación y resistencias del módulo termistor utilizando la hoja de datos ofrecida por el fabricante del NTC 3407, estos valores son:

Temp. °C	Resistencia KΩ	Temp. °C	Resistencia KΩ	Temp. °C	Resistencia KΩ
-10	62.2756	17	14.6181	44	4.3874
-9	58.7079	18	13.918	45	4.2126
-8	56.3694	19	13.2631	46	4.0459
-7	52.2438	20	12.6431	47	3.8867
-6	49.3161	21	12.0561	48	3.7348
-5	46.5725	22	11.5	49	3.5896
-4	44	23	10.9731	50	3.451
-3	41.5878	24	10.4736	51	3.3185
-2	39.8239	25	10	52	3.1918
-1	37.1988	26	9.5507	53	3.0707
0	35.2024	27	9.1245	54	2.959
1	33.3269	28	8.7198	55	2.8442
2	31.5635	29	8.3357	56	2.7382
3	29.9058	30	7.9708	57	2.6368
4	28.3459	31	7.6241	58	2.5397
5	26.8778	32	7.2946	59	2.4468
6	25.4954	33	6.9814	60	2.3577
7	24.1932	34	6.6835	61	2.2725
8	22.9662	35	6.4002	62	2.1907
9	21.8094	36	6.1306	63	2.1124
10	20.7184	37	5.8736	64	2.0373
11	19.6891	38	5.6296	65	1.9653
12	18.7177	39	5.3969	66	1.8963
13	17.8005	40	5.1752	67	1.83
14	16.9341	41	4.9639	68	1.7665
15	16.1156	42	4.7625	69	1.7055
16	15.3418	43	4.5705	70	1.6469

Ilustración 12 Hoja característica termistor 10K (Semiconducto, Thermistor Calculator Component Datasheet, 2016)

Para la lectura de temperatura se usan los comandos del módulo termistor y la lectura del ADC.

Tabla 1 Comandos modulo termistor (Semiconducto, Thermistor Calculator Component Datasheet, 2016)

Función	Descripción
uint32 Thermistor_GetResistance (int16 vReference, int16 vThermistor)	Los valores digitales de los voltajes a través de la resistencia de referencia y la termistor se pasan a esta función como parámetros. Estos pueden ser considerados como las entradas al componente. La función regresa la resistencia, basada en los valores de voltaje
int16 Thermistor_GetTemperature (uint32 resThermistor)	El valor de la resistencia del termistor se pasa a esta función como parámetro. La función devuelve la temperatura, en función del valor de resistencia

6.3.8 REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN

En las máquinas de refrigeración por compresión, los vapores son aspirados y comprimidos mediante un compresor y licuados en un condensador. Los compresores pueden ser de émbolo o rotativos, con o sin refrigeración intermedia. Los equipos frigoríficos a base de compresores de émbolos y funcionamiento automático, son los que se utilizan casi exclusivamente en los frigoríficos industriales.

Durante el cambio de estado el refrigerante en estado gaseoso absorbe energía térmica del medio en contacto con el evaporador, bien sea este medio gaseoso o líquido. Luego de este intercambio energético, un compresor mecánico se encarga de aumentar la presión del vapor para poder condensarlo dentro de otro intercambiador de calor conocido como condensador y hacerlo líquido de nuevo.

Ya que este aumento de presión además produce un aumento en su temperatura, para lograr el cambio de estado del fluido refrigerante es necesario enfriarlo al interior del condensador; esto suele hacerse por medio de aire y/o agua. De esta manera, el refrigerante en estado líquido, puede evaporarse nuevamente a través de la válvula de expansión y repetir el ciclo de refrigeración por compresión. (Arnabat, 2018)

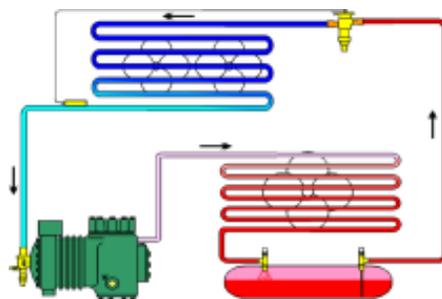


Ilustración 13 Refrigeración por compresión (Arnabat, 2018)

6.4 NIVEL

6.4.1 IMPORTANCIA DEL CONTROL DE NIVEL

El control de nivel es parte fundamental del sistema de recirculación, a partir de este se inicia el funcionamiento del sistema y es uno de los criterios básicos para un buen funcionamiento

El sistema de recirculación tiene tres puntos de nivel:

- Tanque de almacenamiento de agua refrigerante
- Tanque de almacenamiento agua destilada
- Nivel de agua en la resistencia de calefacción

El tanque de agua refrigerante debe contar con el agua suficiente para realizar un ciclo completo de la maquina destiladora, y además hace parte de la torre de enfriamiento por lo que siempre debe tener un contenido de agua moderado ayudando a que la temperatura del agua permanezca estable durante mucho más tiempo.

El tanque de agua destilada permite obtener el resultado de agua destilada deseada que determine el usuario, es decir el control de este nivel determina la salida final del sistema y por ende su control es indispensable en el lazo cerrado de control.

Para cada uno de los tanques se aplica una técnica de medición diferente, debido a las necesidades que su función presenta



6.4.2 SENSOR DE NIVEL PUNTUAL

Este método se basa en la medición directa de la altura de líquido. Se pueden dividir en aquellos que son mecánicos y generalmente manuales de los que basan la medición del nivel en un flotador acoplado a equipo eléctrico. La detección puntual de nivel es ideal para alarmas de nivel alto y bajo, prevención de rebalse, protección de la bomba y control de la bomba. También se puede usar para indicar sencillamente un estado lleno o vacío. (emerson, 2019)

Detector de nivel

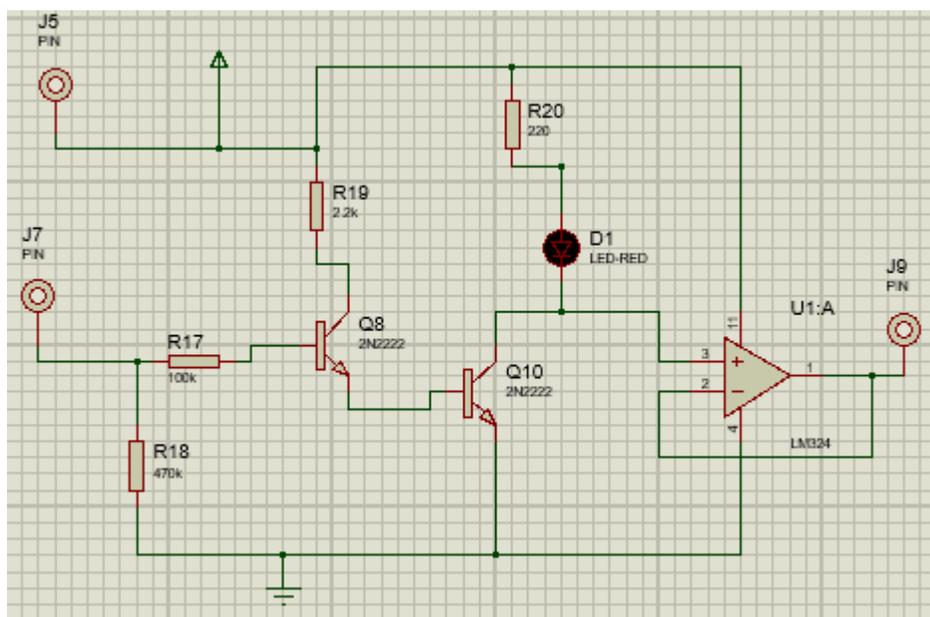


Ilustración 14 Detector de nivel

Se utiliza el circuito de la ilustración 14, para la detección de nivel puntual dentro del tanque de almacenamiento para el agua de refrigeración. Este circuito tiene como elemento principal el transistor 2n2222a en cascada con otro transistor, en la salida del sistema se adapta un amplificador operacional en modo seguidor de tensión, para adaptar esta salida a la entrada del sistema embebido PsoC 5lp.

Cuando los dos electrodos entran en contacto con el agua, provoca que se cierre el circuito y de esta utilizar esta señal y controlar el nivel.

Este método de medición se utiliza tanto en el tanque de almacenamiento del agua de refrigeración y en la medición del nivel de la resistencia de inmersión.

6.4.3 SENSOR DE NIVEL CONTINUO

Los sensores de medición de nivel detectan la altura de nivel actual. Esto se realiza determinando la distancia entre la superficie del medio y el nivel de referencia preseleccionado. La medición de nivel continua permite evaluar el consumo del producto, el control de perdidas, pero, sobre todo, realizar un control de proceso preciso. (pepperl-fruchs.com, 2019)

6.4.4 CRITERIO DE SELECCIÓN DEL SENSOR HC SR04

La elección de este sensor de ultrasonido HC-SR04 es debido a diferentes razones, bajo las cuales cumple las condiciones que necesita el sistema como son:

- Medición de distancia de manera continua.
- Precisión de distancia 3mm.
- Rango de medición 2cm a 450cm.
- Bajo costo.
- Alimentación 5v DC.
- Fácil implementación y medición.

6.4.5 MÓDULO DE ULTRASONIDO HC SR04

El módulo de rango ultrasónico HC - SR04 proporciona 2 cm - 400 cm sin contacto unci3n de medici3n, la precisi3n de alcance puede alcanzar hasta 3 mm. Los m3dulos Incluye transmisores ultras3nicos, receptor y circuito de control. El principio b3sico de trabajo:

1. Utilizando el disparador IO para al menos 10us de se1al de alto nivel
2. El M3dulo envía autom3ticamente ocho 40 kHz y detecta si hay una se1al de pulso de vuelta.
3. Si la se1al regresa, a trav3s de un nivel alto, el tiempo de salida alta de IO es el tiempo desde el envío de ultrasonidos hasta el retorno.

Distancia de prueba = (nivel alto de tiempo x velocidad del sonido (340M / S) / 2.



Ilustraci3n 15 HC SR04 (elec Freaks.com)

El diagrama de tiempo se muestra a continuaci3n. Solo necesitas suministrar un corto 10uS pulsa a la entrada del disparador para iniciar el rango, y luego el m3dulo enviar3 una r3faga de ultrasonido de 8 ciclos a 40 kHz y aumenta su eco. El eco es una distancia objeto que es el ancho de pulso y el rango en proporci3n. Usted puede calcular el rango a trav3s del intervalo de tiempo entre el envío de la se1al de disparo y recibiendo se1al de eco. F3rmula: $\mu\text{S} / 58 = \text{cent3metros o}$

$\mu\text{s} / 148 = \text{pulgada}$; o el rango = nivel alto tiempo * velocidad (340M / S) / 2; Sugerimos utilizar más de 60ms. (elecfreaks.com)

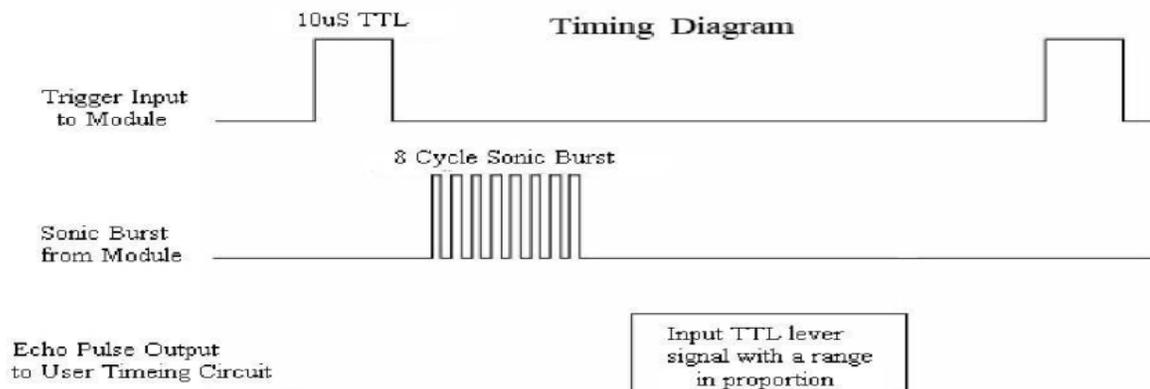


Ilustración 16 diagrama de tiempo (elecfreaks.com)

6.4.6 LECTURA DE NIVEL CONTINUO Y CALIBRACIÓN HC-SR04

Para Obtener la medición de nivel a partir de este sensor es necesario basarse en él es diagrama de tiempo de su funcionamiento, el cual es proporcionado por el fabricante, para aplicar estas condiciones de funcionamiento se elaboró un diseño en PsoC 5lp, a partir del uso de la función TIMER.

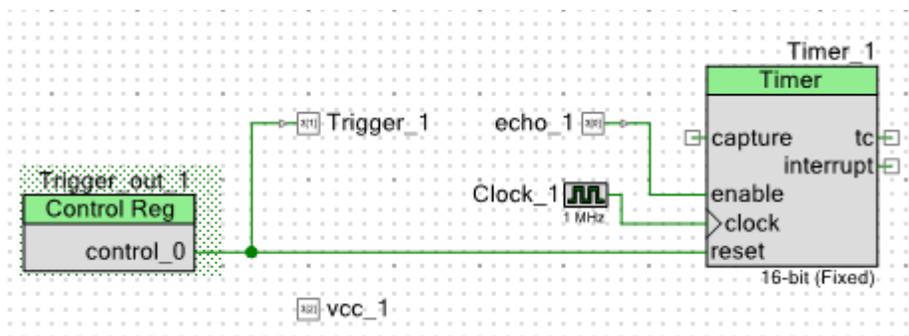


Ilustración 17 TIMER-REGISTRO (fuente autor)

- Trigger: Es el encargado de enviar la señal de activación al módulo, por un tiempo de 10us
- Control Reg: se encarga de reiniciar el Timer cada vez que se necesita realizar una nueva medición.
- Echo: habilita y deshabilita el Timer para así indicar cuando empieza la medición del tiempo.
- Timer: cuenta el tiempo que se tarda la onda en viajar hasta su destino y regresar.
- Clock: indica al timer cada cuanto tiempo cuenta, al estar en valores de mega Hertz el Timer contara en mili segundos.

6.4.7 MEDICIÓN DE NIVEL HC SR04.

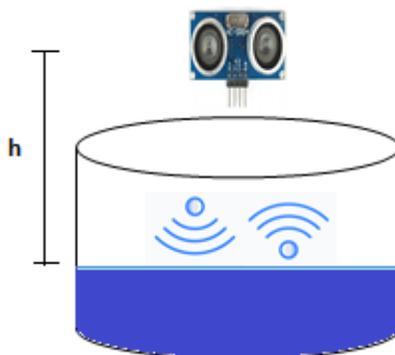


Ilustración 18 Medición nivel continuo (fuente autor)

Para obtener la medición de nivel utilizando este sensor, se ubicó en la parte superior del tanque de almacenamiento del agua destilada, de esta forma la onda de ultrasonido es reflejada por el nivel de agua actual del tanque, a partir de la medición de la distancia en este caso la altura del nivel se puede lograr la medición del nivel en litros, para esto se aplicaron pruebas de distancia vs litros.

34 cm es la distancia que mide el sensor cuando el tanque está completamente vacío.

Tabla 2 Distancia vs Litros

Distancia (cm)	34	32,6	30,9	29,3	27,7	26,1	24,5	22,8	21,1	19,6	17,6	16,5	14,8	12,9	11,7
Litros	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Teniendo en cuenta los resultados de Tabla 1 se realizó la regresión lineal de estos y así encontrar la ecuación de la recta que mejor describe los datos.

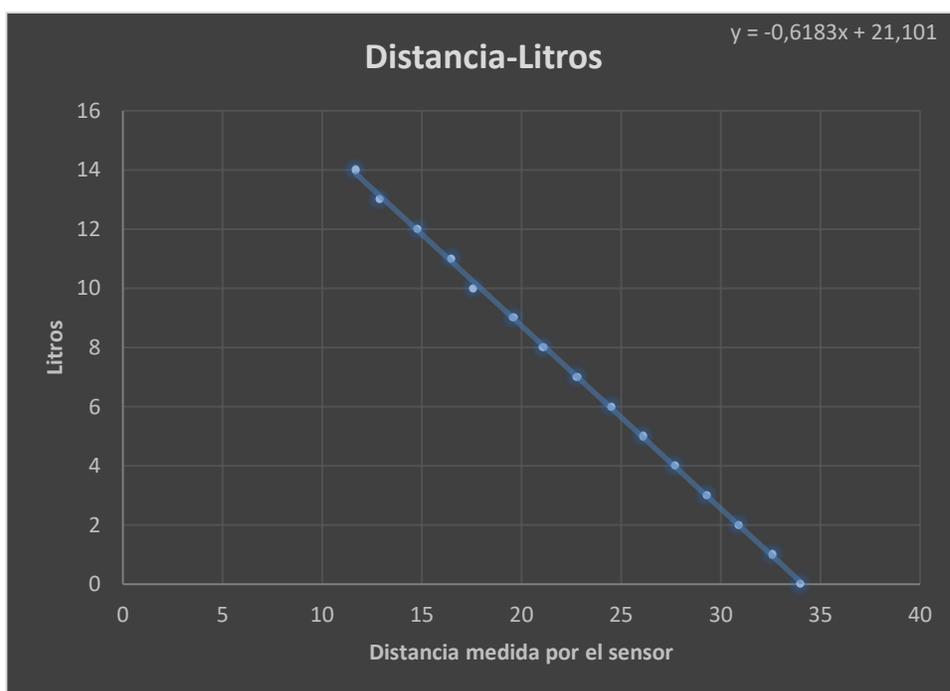


Ilustración 19 Distancia vs Litros fuente : autor

$$y = -0,6183x + 21,101 \text{ ecuación (3)}$$

Aplicando la ecuación 3 donde x es la distancia del nivel de agua captada por el sensor, se adquiere la medida en litros del nivel del tanque de almacenamiento de agua destilada.

6.5 FLUJO Y PRESIÓN

EL flujo y la presión son variables fundamentales en el proceso de recirculación, concretamente el flujo es el volumen de líquido que se circula por una tubería en un periodo de tiempo, la presión es la fuerza que actúa sobre una superficie determinada, para el correcto funcionamiento de la maquina es de suma importancia cumplir los requerimientos mínimos que determina el fabricante en la hoja de características de la maquina Mono Dest 3000N.

Tabla 3 Datos técnicos presión y flujo (Brand, 2004)

Presión mínima de agua	Bar	2
Caudal de agua de refrigeración	L/H	45

A partir de los valores de la tabla anterior se determina los valores de los actuadores encargados de controlar la recirculación del agua como son:

- Bomba periférica
- Electroválvula

Datos técnicos electrobomba

Tabla 4 datos técnicos electrobomba

Potencia	½ hp
Voltaje	120 AC
Flujo máximo	35 L/min
Altura máxima	28m
Profundidad	8m
Presión máxima	35psi

Datos técnicos electroválvula

Tabla 5 Datos técnicos electroválvula

Medio de funcionamiento	Aire, agua
Voltaje de operación	· 12VDC
Modo de operación	Acción directa
Tipo de accionamiento	Normalmente cerrada
Díámetro nominal	8mm
Tamaño de puerto	G1/2"
Presión salida de agua	0.02Mpa~0.8Mpa
Temperatura de operación	-5°C~+60°C

6.2.3.1 Sensor de flujo yf-s201



Ilustración 20 Yf-s201 (SEA, 2016)

Este sensor está diseñado en base de plástico sólido, es adecuado para un tubo estándar de 1/2 pulgada y se puede insertar fácilmente en un sistema de tuberías estándar, cuenta con un rotor de agua, conformado por un pequeño molino de viento, este tiene un pequeño imán atado y hay un sensor magnético de efecto Hall en el otro lado del tubo que registra cada vuelta dada por el molino de viento, esto genera impulsos de salida a una velocidad proporcional a la velocidad de flujo. Este sensor utiliza unas aspas o álabes para medir la cantidad de líquido que se ha movido a través del interior del dispositivo, tiene incrustada una flecha que indica la dirección del flujo. Es decir, que el sentido en que pasa el agua debe ser de izquierda a derecha. Al contar los pulsos de la salida del sensor se puede seguir fácilmente el movimiento del fluido, teniendo en cuenta que cada pulso es de aproximadamente 2.25 mililitros. Hay que tener en cuenta que este dispositivo no es un sensor de precisión, y la frecuencia del pulso varía un poco dependiendo de la velocidad de flujo, la presión del fluido y la orientación del sensor. Se necesitará una cuidadosa calibración si se requiere más que un 10% de precisión. Sin embargo, es un producto muy bueno en tareas básicas. Este sensor es ideal para aplicaciones que tengan que ver con sistemas de tanques de almacenamiento, aplicaciones domésticas de reciclaje de agua, sistemas de riego, entre otras. La señal de salida

puede ser conectada a un microcontrolador para el control de consumo de agua y el cálculo de la cantidad de agua que queda en un tanque, etc. (SEA, 2016)

Características

Tabla 6 características yf-s201 (SEA, 2016)

Modelo	YF-S201
Voltaje de funcionamiento	5V~18V
Corriente de operación	15mA (5V)
Q	Caudal [L/min]
Frecuencia de caudal	$f=7.5*Q$
Pulsos por litro	450
Paso de caudal	1L/min ~ 30L/min
Presión del líquido	1.75Mpa
Conector	<ul style="list-style-type: none"> · Amarillo: Señal de Pulso (salida) · Rojo: +Vcc

	· Negro: Gnd
Humedad de almacenamiento	25%RH~95%RH
Temperatura de operación	-25°C~80°C

6.5 DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL

El funcionamiento de la recirculación depende de las variables mencionadas anterior mente, cada una de estas cumple una función determinada. Para cumplir correctamente con su tarea deben estar dentro de unos parámetros establecidos los cuales se controlarán a por medio de un lazo de control retroalimentado, dentro del cual se implementarán controladores tipo ON/OFF.

6.5.1 DESCRIPCION DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL.

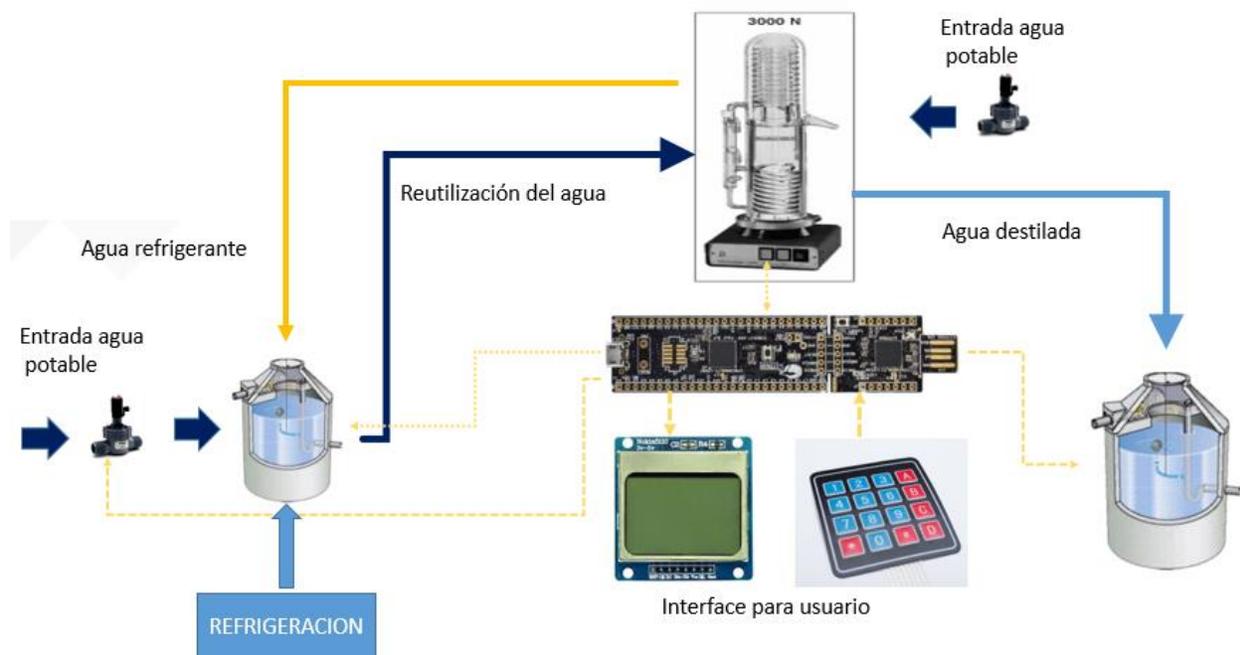


Ilustración 21 Recirculación de agua. Fuente: autor

1. El proceso inicia estableciendo la cantidad de agua destilada que desea el usuario, esta medida es la que determinara el resultado final del proceso o el nivel de agua destilada del tanque de almacenamiento final.
2. A partir del nivel deseado se inicia el llenado del tanque de almacenamiento del agua de refrigeración, el cual se controla por medio de la acción una electroválvula la cual permite el llenado del tanque si este se encuentra en nivel bajo y detiene el llenado cuando alcanza el nivel máximo.
3. Posterior mente al llenado del tanque de refrigeración, se inicia el llenado del nivel de la resistencia calefactora por medio de una electroválvula, la resistencia calefactora tiene que estar completamente sumergida en agua antes de iniciar de encender la maquina destiladora, si esto no se realiza de esta manera se activan las protecciones internas de la monodest 3000N.
4. Una vez se encuentren establecidos estos dos niveles, se hace lectura de la temperatura del agua de refrigeración y se activa el enfriamiento para llevar el agua a una temperatura de 12 C°, así al momento de la recirculación el agua no se calienta de manera rápida.
5. Alcanzado esta temperatura del agua de enfriamiento se inicia el proceso de recirculación activando la motobomba la cual impulsa el agua de enfriamiento al interior de la máquina, esta recorre el serpentín de enfriamiento (serpentín de condensación) y vuelve al tanque de almacenamiento.
6. Al iniciar este proceso se activa la maquina destiladora y empieza la destilación del agua.



7. Se mide de manera continua la temperatura del agua de refrigeración, cuando la temperatura de esta supere los 25°C se detiene el proceso, se activa el enfriamiento del agua, cuando el agua alcance nuevamente la temperatura del 12° se repiten los pasos 5-6.
8. Cuando se alcance el nivel deseado de agua destilada, el proceso culmina y se apagan todos los actuadores de proceso.

El sistema tiene varios lazos de control, cada uno de estos procesos cumple una función determinada para el funcionamiento total del sistema, para cada uno de estos se aplicó un lazo cerrado de control mediante un funcionamiento ON/OFF:

- Control de nivel Tanque de almacenamiento Agua de refrigeración
- Control de nivel Resistencia calefactora
- Control de nivel Tanque de almacenamiento Agua de Destilada
- Control de Temperatura agua de refrigeración

Para controlar las acciones del sistema de desarrollo un código de programación implementado en el sistema embebido Psoc 5Lp utilizando condicionales y aplicación de funciones.



LAZO CERRADO DE CONTROL TEMPERATURA AGUA DE REFRIGERACION

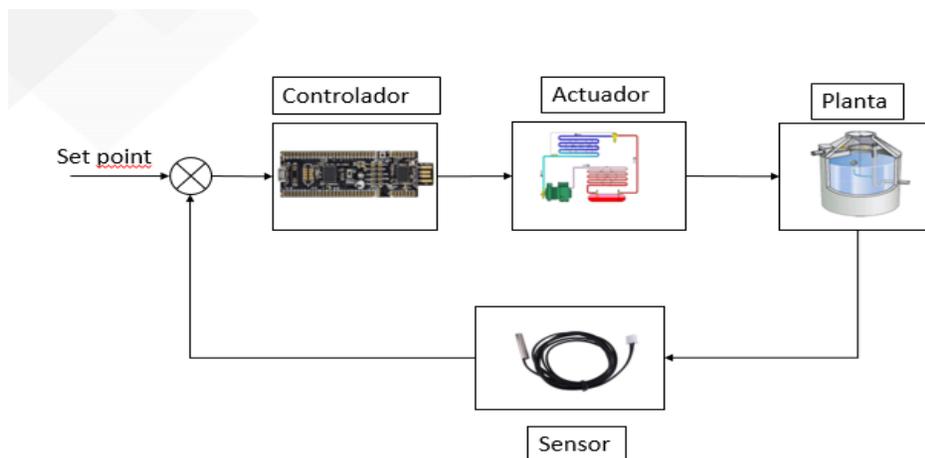


Ilustración 22 Lazo cerrado control de temperatura



Ilustración 23 Respuesta del sistema y activación On/Off

El sistema mantiene la temperatura en el rango de temperatura deseado, para el correcto funcionamiento del sistema en la etapa de condensación.

LAZO CERRADO DE CONTROL NIVEL DEL TANQUE DE REFRIGERACION

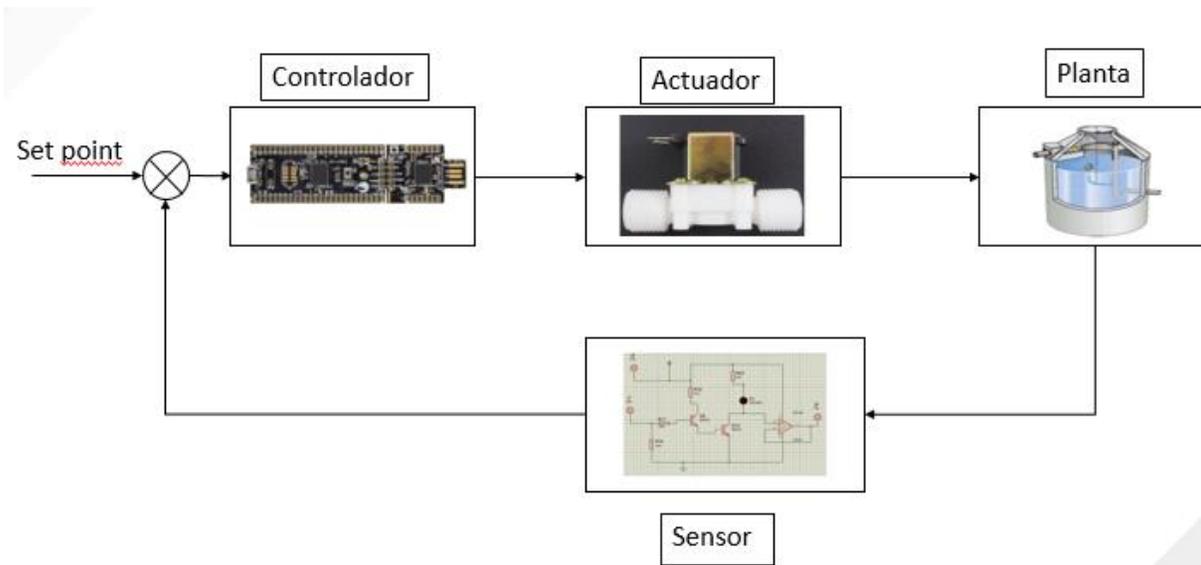


Ilustración 24 Lazo cerrado control de nivel



Ilustración 25 Respuesta del sistema activación on/off

El comportamiento del sistema representa una respuesta escalón, debido a que el sensor de nivel usado es un sensor de nivel puntual y no representa puntos medios del sistema, solo representa cuando el tanque este vacío o lleno.

El mismo lazo de control se utiliza para el llenado de la resistencia de calefacción.

LAZO CERRADO CONTROL DE NIVEL TANQUE DE AGUA DESTILADA

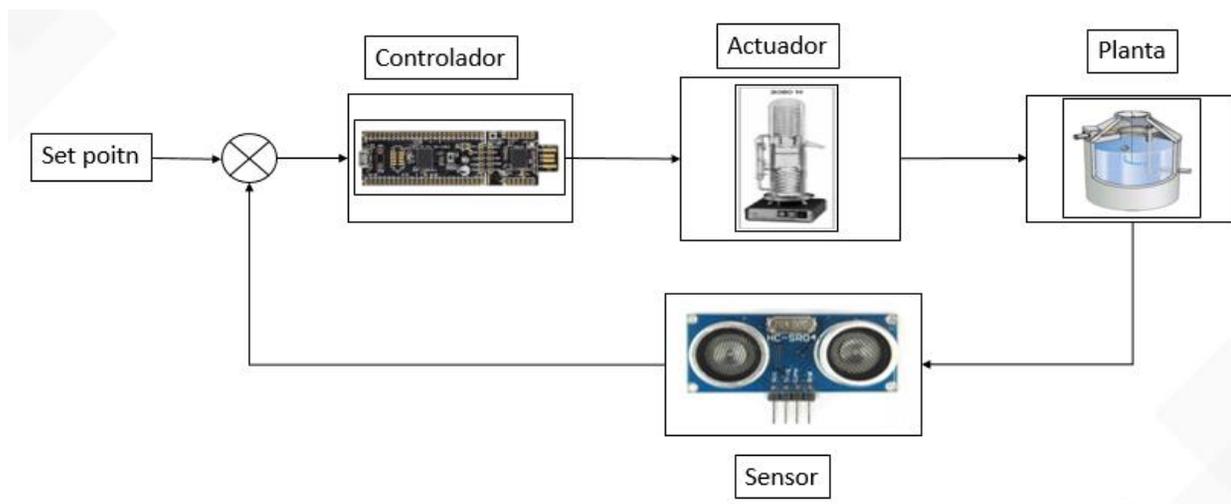


Ilustración 26 Lazo cerrado control de nivel continuo



Ilustración 27 respuesta del sistema activación ON/OFF

El tanque de agua destilada puede tener varios valores debido al sensor de nivel que es de manera continua, además de que el sistema puede tener diferentes sets point, el cual es ingresado por el usuario.

6.5.2 CIRCUITOS DE POTENCIA

6.5.3 ACTIVACIONES EN DC

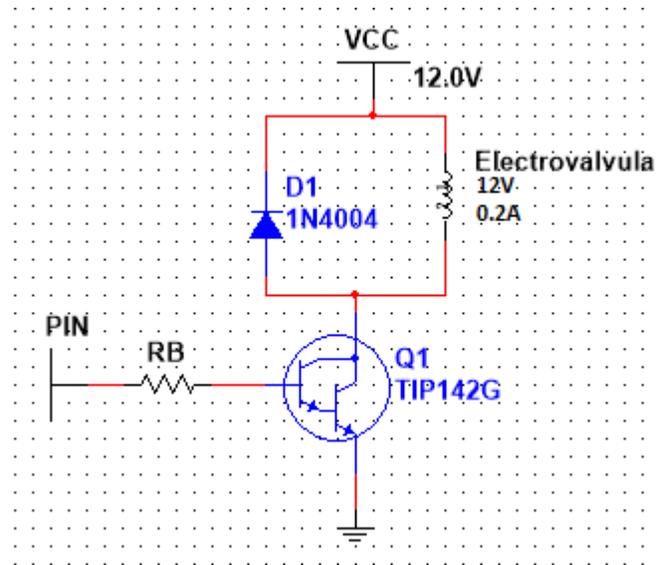


Ilustración 28 Pre diseño activación DC

1) REFERENCIAS:

Q1: Transistor TIP 142

$$\beta_1 = 1000$$

ANÁLISIS TÉRMICO Q1: (OSPINO, 2016)

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	TIP140 TIP145	TIP141 TIP146	TIP142 TIP147	Unit
Collector – Emitter Voltage	V_{CEO}	60	80	100	Vdc
Collector – Base Voltage	V_{CB}	60	80	100	Vdc
Emitter – Base Voltage	V_{EB}	5.0			Vdc
Collector Current – Continuous – Peak (Note 1)	I_C	10 15			Adc
Base Current – Continuous	I_B	0.5			Adc
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$	P_D	125			W
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	–65 to +150			$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	1.0	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	35.7	$^\circ\text{C}/\text{W}$

Ilustración 29 hoja de características tip142 (semiconductor, 2016)

SIN DISIPADOR

$$T_j - T_a = P_D * R_{\theta JA} \quad (1)$$

$$T_a = 5^\circ\text{C} + T_{maxh} \quad (2)$$

$$T_a = 5^\circ\text{C} + 27^\circ\text{C}$$



$$T_a = 32^\circ C$$

$$PD = V_{CE\ sat} * I_C \quad (3)$$

$$I_C = I_{Electrovalvula} = 0.2A \quad (4)$$

$$PD = 2V * 0.2A$$

$$PD = 0.4W = 400mW$$

Despejamos T_j en (1)

$$T_j = T_a + PD * R_{\theta JA}$$

$$T_j = (32^\circ C) + (0.4W) * (35.7 \frac{^\circ C}{W})$$

$$T_j = 46.28^\circ C$$

Hallamos la constante K

$$K = \frac{T_j}{T_{jmax}} \quad (5)$$

$$K = \frac{46.28^\circ C}{150^\circ C}$$

$$K = 0.281$$

Si $K > 0.5 \rightarrow$ Requiere disipador

$$0.281 < 0.5$$

No se requiere disipador de calor.



DISEÑO:

LVK MALLA 1

$$-V_{OH} + I_{BD} * R_B + V_{BED} = 0$$

$$I_{BD} = \frac{V_{OH} - V_{BED}}{R_B} \quad (1)$$

LVK MALLA 2

$$-V^+ + V_{Elev} + V_{CED} = 0$$

$$V_{CED} = V^+ - V_{Elev} \quad (2)$$

El Darlington integrado si puede conducir saturado, por lo tanto:

$$\frac{I_{CD}}{I_{BD}} < \beta_D \quad (3)$$

$$0V \leq V_{CED} \leq V_{CEsatd} \quad (4)$$

Remplazar (2) en (4)

$$0V \leq V^+ - V_{Elev} \leq V_{CEsatd}$$

$$V_{Elev} \leq V^+ \leq V_{Elev} + V_{CEsatd} \quad (5)$$

LCK EN EL NODO 1

$$I_{Elev} = I_{CD} \quad (6)$$



LCV EN EL NODO 2

$$IOH = IB D \quad (7)$$

Remplazar (1) y (6) en (3)

$$\frac{IElectv}{\frac{VOH - VBED}{RB}} < BD \quad (8)$$

En saturación, la unión BE esta polarizada en directa, por tanto

$$VBED = VBEDon$$

Remplazar (9) en (8)

$$IElectv < BD \left[\frac{VOH - VBEDon}{RB} \right]$$

$$RB < BD \left[\frac{VOH - VBEon}{IElectv} \right] \quad (10)$$

La Para una compuerta lógica ttl o cmos, y considerando que la Psoc tiene salida de TTL

$$0mA < IOH \leq 4mA$$

Remplazar (1) y (7) en (11)

$$0mA < \frac{VOH - VBEDon}{0,4mA} < RB$$

$$RB \geq \frac{VOH - VEEDon}{0,4mA} \quad (12)$$

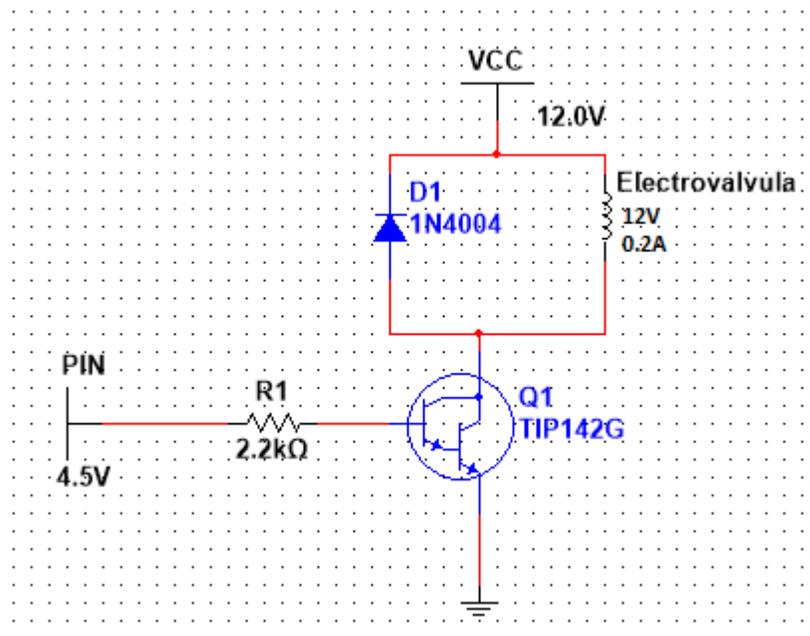


$$R_B \geq \frac{4,5V - 4V}{0,4mA}$$

$$R_B \geq 2k\Omega$$

- El voltaje de ruptura de D1 debe ser mayor que al voltaje V+
- La I_{max} en DC de D1 sea mayor a la I_{Elevc}.

DIODO: 1N4004



6.5.4 ACTIVACIONES EN AC

Para el manejo de cargas en AC se utilizaron los SSR (solid state relay).



Ilustración 30 SSR-40DA (controls, 2018)

El relé de estado sólido - SSR-40DA le permite controlar cargas de CA de alta corriente desde circuitos de control de CC de voltaje más bajo. Los relés de estado sólido tienen varias ventajas sobre los relés mecánicos. Una de estas ventajas es que se pueden conmutar con un voltaje mucho más bajo y con una corriente mucho menor que la de la mayoría de los relés mecánicos, y como no hay contactos móviles, los relés de estado sólido se pueden cambiar mucho más rápido y por períodos mucho más largos sin desgastarse.

Este relé de estado sólido en particular puede conmutar cargas de corriente de hasta 40 A con una entrada de 3-32 V CC y un método de control de activación de cruce cero. Cada uno de estos relés está equipado con cuatro terminales de tornillo (para usar con conectores de anillo o horquilla) y una cubierta de plástico que se desliza sobre la parte superior del relé para proteger los terminales. (electronics, 2018)

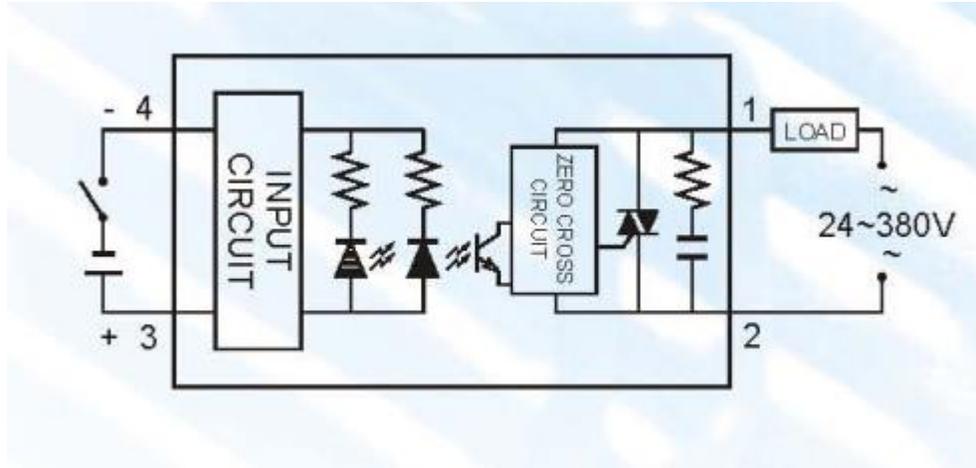


Ilustración 31 SSR internamente (controls, 2018)

características:

- Corrientes de disparo: 7.5mA / 12V
- Voltaje de control: 24-380V AC
- Voltaje de entrada: 3-32V DC
- Cruz cero

La hoja de características del SSR proporciona las configuraciones que se pueden establecer para el funcionamiento del SSR. (controls, 2018)

Application Hints

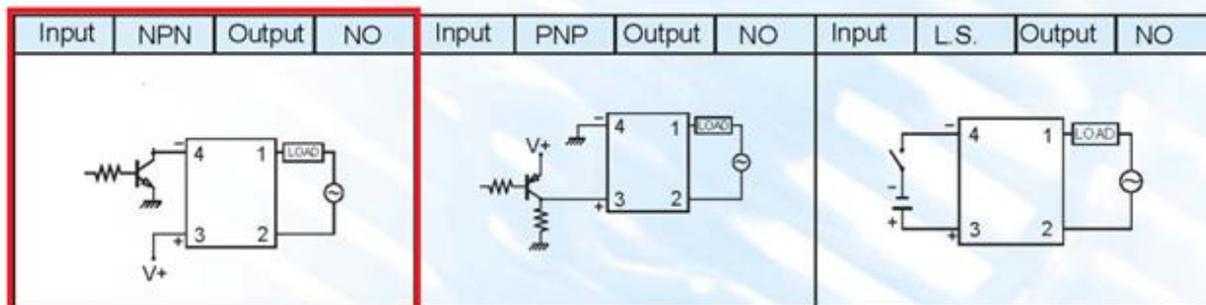


Ilustración 32 Activaciones SSR (controls, 2018)

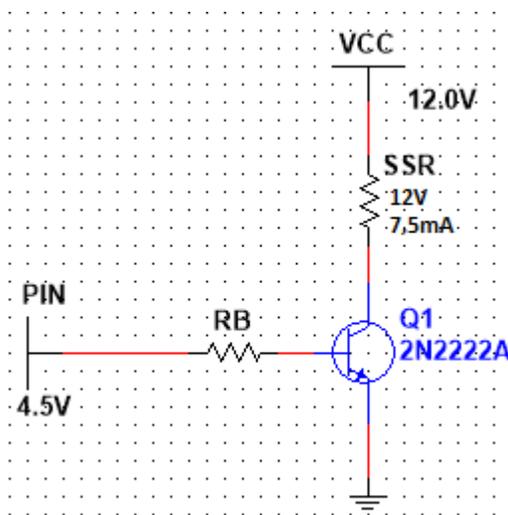


Ilustración 33 Pre diseño activación SSR fuente: autor

1) REFERENCIAS:

Q1: Transistor 2n2222A

$$\beta_1 = 100$$

ANÁLISIS TÉRMICO Q1: (OSPINO, 2016)

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector–Emitter Voltage	V _{CEO}	40	Vdc
Collector–Base Voltage	V _{CB0}	75	Vdc
Emitter–Base Voltage	V _{EB0}	6.0	Vdc
Collector Current — Continuous	I _C	600	mAdc
Total Device Dissipation @ T _A = 25°C Derate above 25°C	P _D	625 5.0	mW mW/°C
Total Device Dissipation @ T _C = 25°C Derate above 25°C	P _D	1.5 12	Watts mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T _J , T _{stg}	–55 to +150	°C

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	R _{θJA}	200	°C/W
Thermal Resistance, Junction to Case	R _{θJC}	83.3	°C/W

Ilustración 34 Hoja de datos 2n2222A (SEMICONDUCTORS, 1999)

SIN DISIPADOR

$$T_j - T_a = PD * R_{\theta JA} \quad (1)$$

$$T_a = 5^{\circ}C + T_{maxh} \quad (2)$$

$$T_a = 5^{\circ}C + 27^{\circ}C$$

$$T_a = 32^{\circ}C$$

$$PD = V_{CE sat} * IC \quad (3)$$

$$IC = SSR = 7,5mA \quad (4)$$

$$PD = 2V * 7,5mA$$



$$PD = 0.015W = 15mW$$

Despejamos T_j en (1)

$$T_j = T_a + PD * R_{\theta JA}$$

$$T_j = (32^{\circ}C) + (0.015W) * (200 \frac{^{\circ}C}{W})$$

$$T_j = 32.3^{\circ}C$$

Hallamos la constante K

$$K = \frac{T_j}{T_{jmax}} \quad (5)$$

$$K = \frac{32.3^{\circ}C}{150^{\circ}C}$$

$$K = 0.2153$$

Si $K > 0.5 \rightarrow$ Requiere disipador

$$0.215 < 0.5$$

No se requiere disipador de calor.

DISEÑO:

LCK EN EL NODO C

$$ISSR = IC \quad (1)$$

LVK MALL 2

$$-V^+ + VSSR + VCE = 0$$

$$VCE = V^+ - VSSR \quad (2)$$

Considerando el escenario del SSR activado, el bjt debe conducir en saturación:

$$VBE = V_{Bon} \quad (3)$$

$$\frac{IC}{IB} < B \quad (4)$$

$$0V \leq VCE \leq VCEsat \quad (5)$$

Reemplazar (2) en (5)

$$0V \leq V^+ - VSSR \leq VCEsat$$

$$VSSR \leq V^+ \leq VSSR + VCEsat$$

$$V^+ = VSSR \quad (6)$$

LVK MALLA 1

$$-VIN + IB * RB + VBE = 0 \quad (7)$$

(3) en (7)



$$-VIN + IB * RB + VBEon = 0$$

$$IB = \frac{VIN - VBEon}{RB} \quad (8)$$

Recordar que en saturación $IB > 0A$, por lo tanto:

$$\frac{VIN - VBEon}{RB} > 0A$$

$$VIN > VEBON \quad (9)$$

Remplazar (1) Y (8) en (4)

$$\frac{ISSR}{\frac{VIN - VBEon}{RB}} < B$$

$$ISSR * RB < B[VIN - VBEon]$$

$$RB < \frac{B[VIN - VBEon]}{ISSR}$$

$$RB < \frac{100[4,5V - 2V]}{7,5mA}$$

$$RB < 12K\Omega$$

DISEÑO

$$I_C = 600\text{mA} > I_{SSR} = 7,5\text{mA}$$

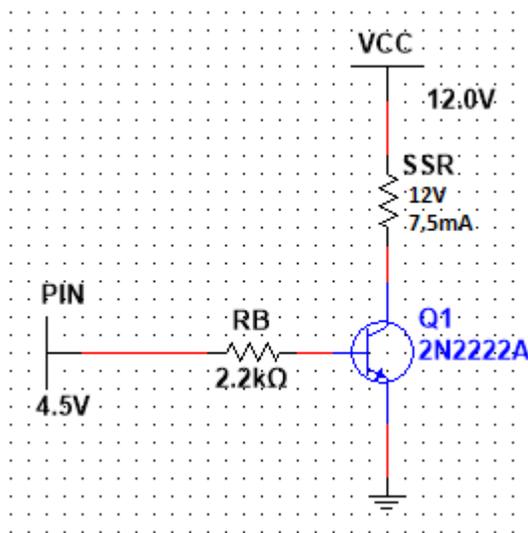


Ilustración 35 Diseño Activación SSR (fuente: autor)

6.6 INTERFACE HMI

La interface HMI es un sistema interactivo (software o hardware) que proporcionan la información y el control necesarios para que el usuario lleve a cabo una tarea con el sistema interactivo, específicamente la interface HMI en este proceso cumple la función de tomar la solicitud del usuario sobre la cantidad de agua destilada que desea destilar, y mostrar información de relevancia para el usuario como el tiempo aproximado en el que cumplirá con su solicitud, además de la cantidad de agua destilada que se encuentra disponible en el tanque de almacenamiento.

Para cumplir con la visualización de estos datos se utilizará una pantalla Nokia 5110 y para el ingreso de los datos un teclado matricial 4X4

6.6.1 PANTALLA NOKIA 5110

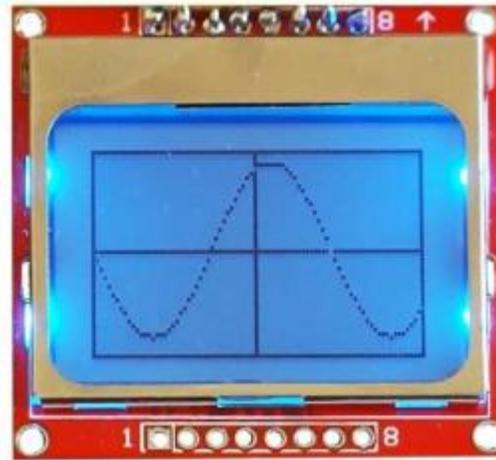


Ilustración 36 Pantalla nokia 5110 (SEMICONDUCTORS, 1999)

Tarjeta de adaptación (breakout) y pantalla LCD Nokia utilizada en teléfonos Nokia 5110 y 3310. Se trata de una pantalla gráfica útil en proyectos con microcontroladores. La presentación es en forma de módulo, que distribuye todas las señales de control en headers macho de 0.1" fáciles de manejar que ayudan a conectar la pantalla a prototipos o circuitos definitivos sin necesidad de partes especiales. La pantalla tiene un controlador PCD8544 que es el mismo que se utilizó en la pantalla del Nokia 3310. El controlador se comunica con el procesador principal a través de una interfaz serie **SPI**, por lo que se requieren pocos pines para manejar el display. (SEMICONDUCTORS, 1999)

Características de LCD Nokia 5110

- Pantalla LCD Nokia 5110 controlador Philips PCD8544 (también se usó en el Nokia 3310)
- Fácil de conectar al protoboard o tarjeta perforada

- Resolución 48 x 84 pixeles
- Interfaz con microcontrolador: SPI
- Backlight Incluido
- Voltaje de operación: 2.7 a 3.3V
- Corriente en operación: <5 mA sin backlight, ~20 mA con backlight

6.4.1.1 Manejo Nokia 5110 y protocolo SPI

La pantalla Nokia 5110 maneja el protocolo SPI (Serial Peripheral Interface) El SPI es un protocolo síncrono que trabaja en modo full duplex para recibir y transmitir información, permitiendo que dos dispositivos puedan comunicarse entre sí al mismo tiempo utilizando canales diferentes o líneas diferentes en el mismo cable. Al ser un protocolo síncrono el sistema cuenta con una línea adicional a la de datos encargada de llevar el proceso de sincronismo. (Navarro, 2014)

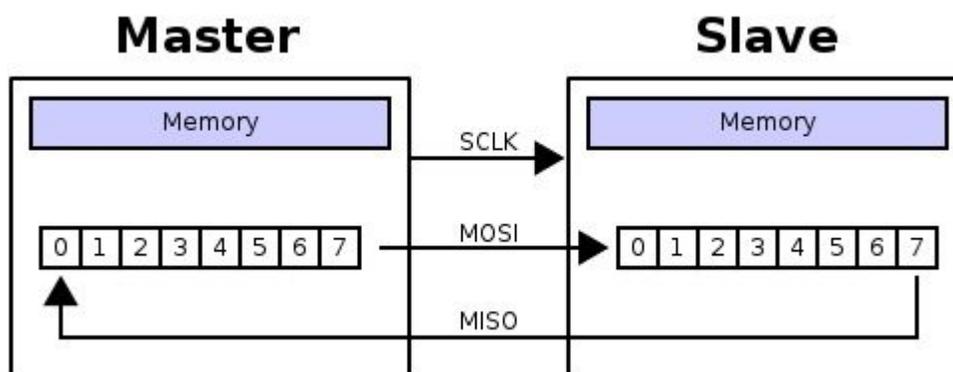


Ilustración 37 Protocolo SPI (Navarro, 2014)

El mapeo de la pantalla utilizando el sistema embebido PsoC 5lp se realiza utilizando el módulo de comunicación Master SPI y acoplarlo a los diferentes pines de la tarjeta.

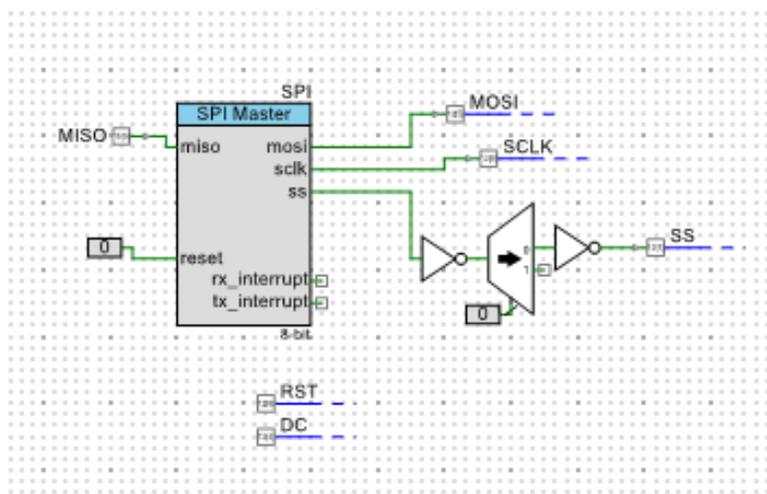


Ilustración 38 Módulo SPI Master(fuente: autor)

El componente SPI Master proporciona un maestro de 4 cables estándar de la industria Interfaz SPI. También puede proporcionar una interfaz SPI de 3 hilos (bidireccional). Ambas interfaces soportan todos Cuatro modos de funcionamiento SPI, que permiten la comunicación con cualquier dispositivo esclavo SPI. Además de longitud de palabra estándar de 8 bits, el SPI Master admite una longitud de palabra configurable de 3 a 16 bits para comunicación con longitudes de palabra SPI no estándar. (Cypress, 2017)

Las señales SPI incluyen:

- Reloj serial (SCLK)
- Master In, Slave Out (MISO)
- Master Out, Slave In (MOSI)
- Datos seriales bidireccionales (SDAT)
- Selección de esclavos (SS)

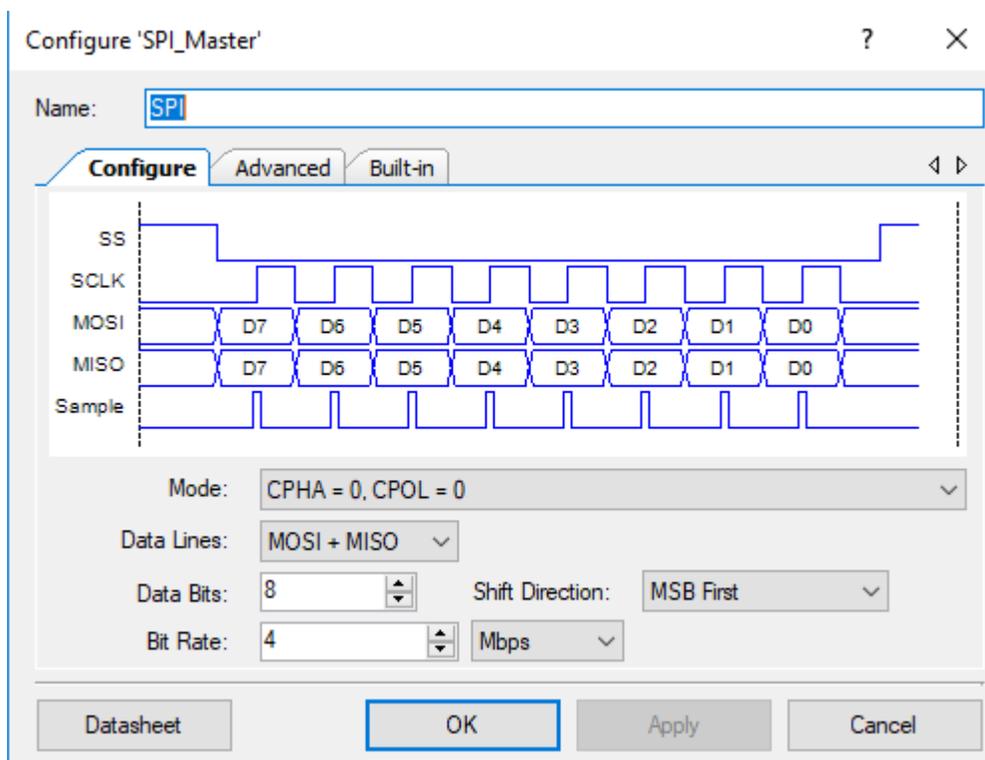


Ilustración 39 Configuración de módulo SPIMASTER (autor)

Función y Descripción

- `SPIM_Start ()`: Llama tanto a `SPIM_Init ()` como a `SPIM_Enable ()`. Debe llamarse la primera vez que se inicia el componente.
- `SPIM_Stop ()`: Deshabilita la operación de SPI Master.
- `SPIM_EnableTxInt ()`: Habilita la interrupción interna de Tx irq.
- `SPIM_EnableRxInt ()`: Habilita la interrupción interna de Rx irq.
- `SPIM_DisableTxInt ()`: Desactiva la interrupción interna Tx irq.
- `SPIM_DisableRxInt ()`: Desactiva la interrupción de Rx interna irq.

- SPIM_SetTxInterruptMode (): Configura las fuentes de interrupción Tx habilitadas.
- SPIM_SetRxInterruptMode () :Configura las fuentes de interrupción Rx habilitadas.
- SPIM_ReadTxStatus () Devuelve el estado actual del registro de estado Tx.
- SPIM_ReadRxStatus () Devuelve el estado actual del registro de estado Rx

(Cypress, 2017)

6.6.2 TECLADO MATRICIAL

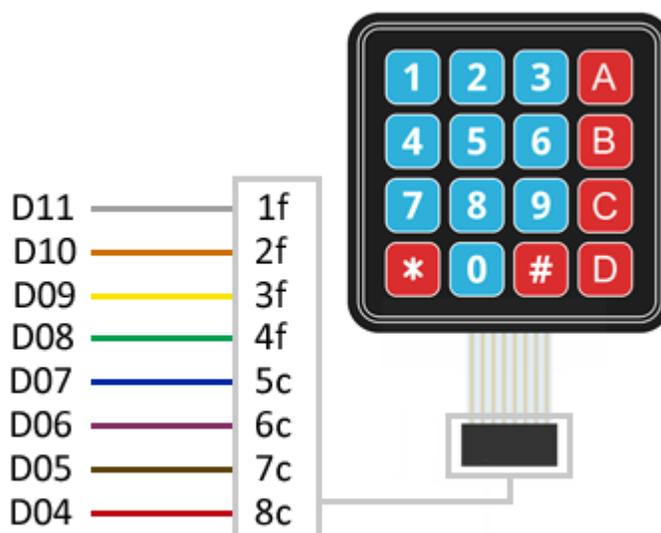


Ilustración 40 Teclado matricial (SEMICONDUCTORS, 1999)

Un teclado matricial es un dispositivo que agrupa varios pulsadores y permite controlarlos empleando un número de conductores inferior al que necesitaríamos al usarlos de forma individual.

Estos dispositivos **agrupan los pulsadores en filas y columnas** formando una matriz, disposición que da lugar a su nombre. Es frecuente una disposición rectangular pura de NxM columnas, aunque otras disposiciones son igualmente posibles.

Los teclados matriciales son frecuentes en electrónica e informática. De hecho, los teclados de ordenador normales son teclados matriciales, siendo un buen ejemplo de teclado matricial con disposición no rectangular.

La siguiente imagen muestra, a modo de ejemplo, una disposición rectangular de 4x4, aunque el funcionamiento es análogo en otras disposiciones. Al detectar la pulsación en la columna X y la fila Y, sabremos que se ha pulsado la tecla (X,Y). (luis)

Internamente la disposición de los pulsadores es la siguiente

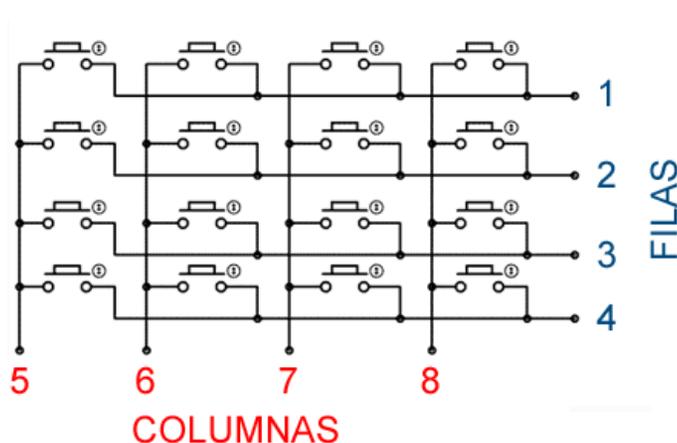


Ilustración 41 teclado matricial 4x4

Para detectar la pulsación de una tecla actuaremos de forma similar a la lectura simple de un pulsador. En resumen, ponemos a tierra un extremo del pulsador, y el otro lo conectamos a una entrada digital con una resistencia de pull-up.

Para leer todas las teclas tendremos que **hacer un barrido por filas**. En primer lugar ponemos todas las filas a 5V, y definimos todas las columnas como entradas con resistencia de pull-up.

Progresivamente ponemos una fila a 0V, y leemos las entradas de la columna. Una vez realizada la lectura volvemos a ponerla a 5V, pasamos a la siguiente fila, y volvemos a realizar el progreso hasta recorrer todas las filas. (luis)

Esta operación se realiza por medio de la librería

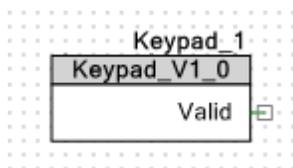


Ilustración 42 librería keypad (autor)

```
char8 Keypad_1_Key[4][4] = {
    {'1', '4', '7', '*'},
    {'2', '5', '8', '0'},
    {'3', '6', '9', '#'},
    {'A', 'B', 'C', 'D'}
};
```

Ilustración 43 Función del teclado (autor)

7 RESULTADOS

7.1 MEDICION DE VARIBALES ADQUIRIDAS

TEMPERATURA AGUA DE REFRIGERACION ESTABLE:



Ilustración 44 Visualización temperatura NTC 3704 10K a (fuente: auto)

TEMPERATURA AGUA DE REFRIGARACION DESPUES DE 10min a 20 min



Ilustración 45 Visualización de temperatura NTC 3704 10K b (fuente: auto)

COMPORTAMIENTO DE TEMPERATURA EN ETAPA DE REFRIGERACION

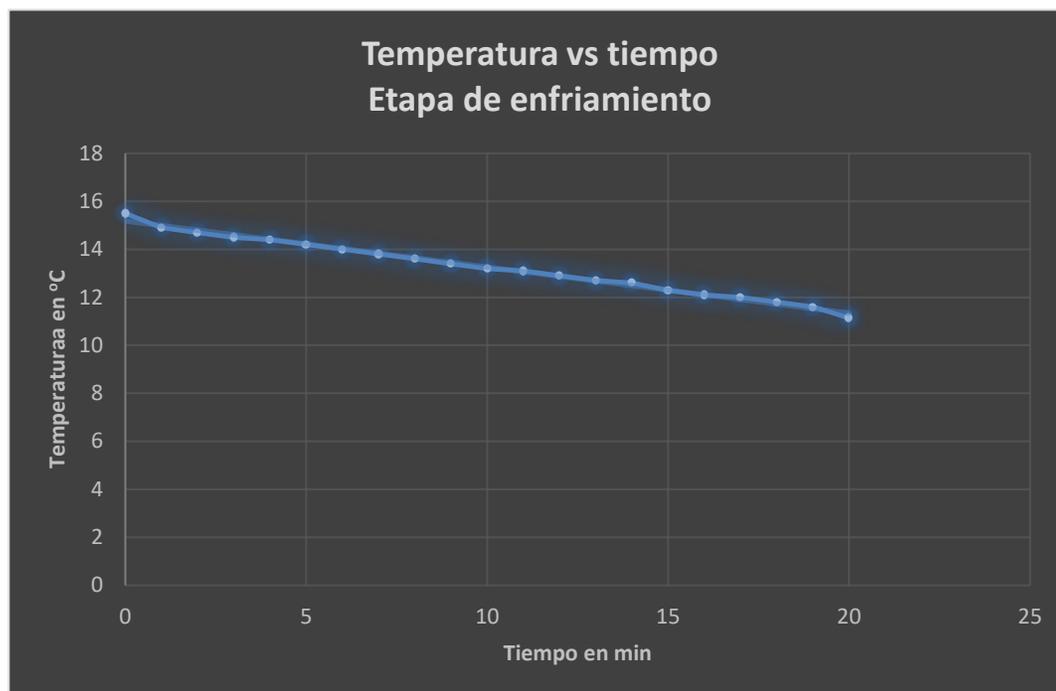


Ilustración 46 Temperatura vs tiempo Refrigeración (fuente: auto)

Tabla 7 Temperatura vs tiempo Refrigeración

Tiempo en minutos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura	15,5	14,9	14,7	14,5	14,4	14,2	14	13,8	13,6	13,4	13,2

Tiempo en minutos	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Temperatura	13,1	12,9	12,7	12,6	12,3	12,1	12	11,8	11,6	11,14

Al analizar la gráfica se puede determinar que la temperatura del agua desciende de manera continua a una razón de cambio aproximada mente de $0,2^{\circ}\text{C}$ por minuto, teniendo una temperatura ambiente de 20°C , iniciando con una temperatura de 15°C , está razón de cambio puede variar dependiendo de la temperatura ambiente.

La etapa de refrigeración de sebe realizar cuando el flujo de agua se encuentra detenido, dado que si el flujo está en movimiento el enfriamiento del agua no se verá reflejado de manera constante.

COMPORTAMIENTO DE TEMPERATURA EN MAQUINA EN FUNCIONAMIENTO

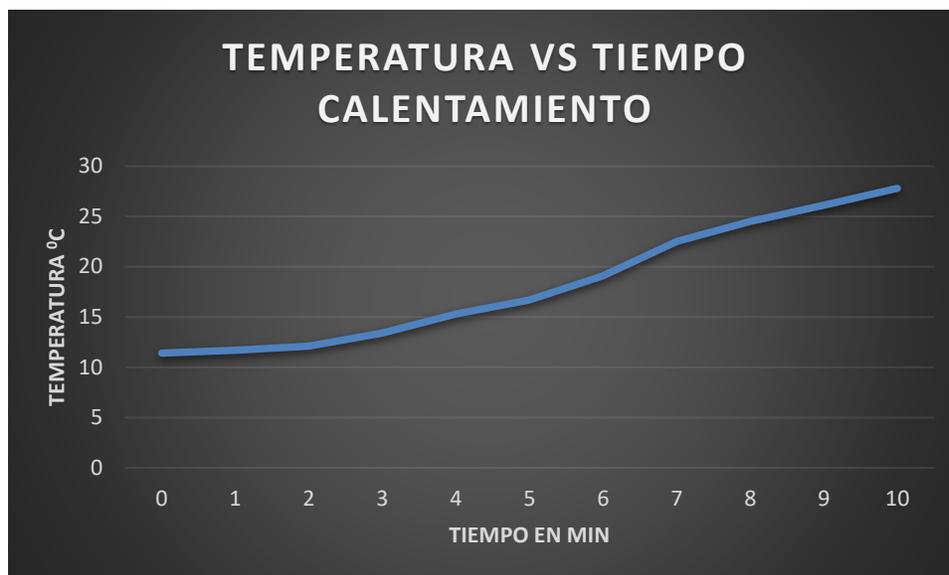


Ilustración 47 Temperatura vs tiempo Calentamiento (fuente: auto)

Tabla 8 Temperatura vs tiempo Calentamiento

Tiempo en minutos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura	11,4	11,7	12,1	13,4	15,3	16,7	19,1	22,5	24,5	26,1	27,8

Al estar en funcionamiento la recirculación de agua, el agua utilizada para la refrigeración empieza a calentarse, esto debido al paso por el serpentín de refrigeración que tiene internamente la maquina donde se condensa el vapor de agua, durante los primeros minutos la temperatura interna de la maquina aun no es tan elevada por lo cual el calentamiento que sufre es poco, sin embargo,

después de los 3 minutos la temperatura empieza a elevarse de manera exponencial, cada ciclo en que el agua ingresa y sale del serpentín incrementa la temperatura del agua.

El ciclo de recirculación se detiene cuando la temperatura alcanza un valor de 28 grados centígrados, en ese momento empieza nuevamente la etapa de enfriamiento.

MEDICION DE NIVEL CONTINUO

MEDICION DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DESTILADA



Ilustración 48 Medición de nivel continuo hc sr04(fuente: auto)

MEDICION DE NIVEL PUNTUAL

NIVEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO PARA REFRIGERACION

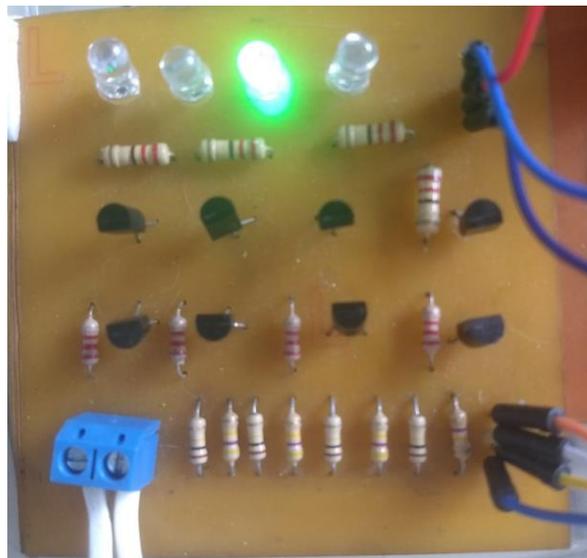


Ilustración 49 Visualización nivel bajo tanque de refrigeración (fuente: auto)



Ilustración 50 Visualización de nivel alto tanque de refrigeración (fuente: auto)

NIVEL DE AGUA EN LA RESITENCIA DE CALEFACCION

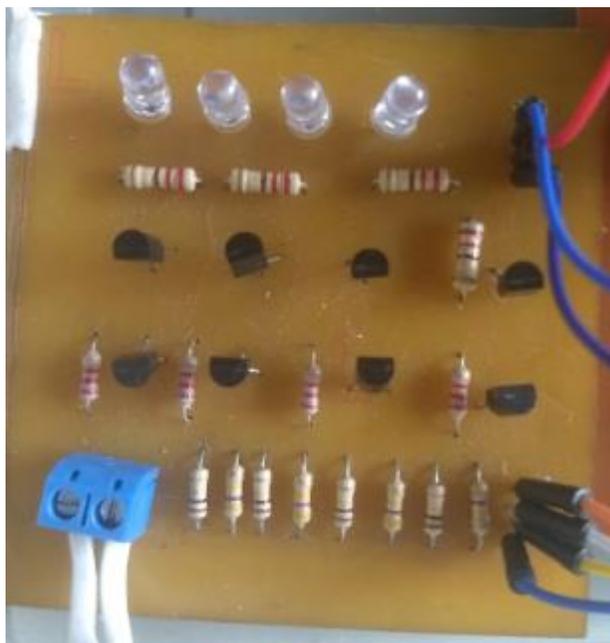


Ilustración 51 Visualizacion nivel bajo en resistencia de calefacción(fuente: auto)



Ilustración 52 Visualizacion nivel alto en resistencia de calefacción(fuente: auto)

7.2 RESULTADOS INTERFACE HMI Y METODOLOGIA DE FUNCIONAMIENTO

PRESENTACION DE INICIO



Ilustración 53 Presentación de inicio de la maquina(fuente: auto)

INTERACCION CON EL USUARIO



Ilustración 54 Solicitud de cantidad de agua a destilar(fuente: auto)

El usuario ingresa por teclado la cantidad de agua destilada que desee destilar dentro de un rango de 1-14 L, también se muestra la cantidad de agua destilad actual presente en el taque.



Ilustración 55 Usuario ingresa un valor superior al indicado (fuente: auto)

Seguido de ingresar el valor, el usuario se encuentra con una pregunta de verificación en caso de que ingresara un valor no deseado o equivocado, las te A y D continúan con o detiene el proceso.

Como se muestra en la ilustración el valor ingresado supera los límites establecidos, por lo tanto, en caso de que el usuario desee continuar con este valor, se muestra en pantalla el mensaje a continuación.



Ilustración 56 Error por ingresar un valor superior al límite (fuente: auto)

Pasan unos 3s y la pantalla mostrara nuevamente la solicitud de cuánta agua destilada desea.

En caso de que el usuario ingrese un valor deseado de agua destilada, pero el valor se encuentre dentro de la cantidad actual del destilador entonces la maquina mostrara.



Ilustración 57 La cantidad de agua deseada se encuentra disponible en el tanque de almacenamiento (fuente: auto)

Si el valor ingresado no se encuentra disponible y no sobrepasa los límites, entonces el proceso continuara verificando el estado de las variables, empezando por el nivel del tanque de refrigeración, después el nivel del tanque e la resistencia y por último la temperatura del agua.

TANQUE DE ALMACENAMIENTO AGUA DE REFRIGERACION



Ilustración 58 Acción de verificación tanque de refrigeración(fuente: auto)

NIVEL DE AGUA EN RESISTENCIA DE CALEFACCION



Ilustración 59 Acción de verificación nivel de resistencia (fuente: auto)

TEMPERATURA DEL AGUA



Ilustración 60 Acción de verificación temperatura (fuente: auto)

7.3 COMPARATIVA CON EL SISTEMA SIN CONTROL

Tabla 9 Comparativa control vs sin control

X	CONSUMO ENERGETICO	CONSUMO DE AGUA POR LITRO DESTILADO	TIEMPO DE PRODUCCION POR LITRO DE AGUA	TIPO DE FUNCIONAMIENTO
MONO DEST 3000N SIN CONTROL	3000W	100L	25min	CONTINUO
MONO DEST 3000N CON CONTROL	3600W	1.5L	60min	DISCONTINUO

- Desde el punto de vista energético maquina Mono Dest 3000N tiene un consumo considerablemente alto de energía, este consumo comparado con el aumento generado al implementar el control es poco, se aumentó el consumo alrededor de un 20% más del valor normal de la máquina.
- Al comparar el consumo de agua para la producción de agua destilada el sistema con control tiene una gran ventaja frente al sistema sin control, esto debido al sistema de recirculación de agua que permite aprovechar el agua de refrigeración una y otra vez en los ciclos de producción, así el agua consumida es prácticamente la misma que el agua que se destilo.
- En los tiempos de producción la maquina sin control tiene gran ventaja frente a la maquina con control, esto debido al tiempo necesario que utiliza el sistema de

control para la refrigeración del agua y poder utilizarla en los ciclos de producción. Por esto el modo de producción de la maquina es continuo y el de control es discontinuo.

7.3.1 POTENCIA PROMEDIO

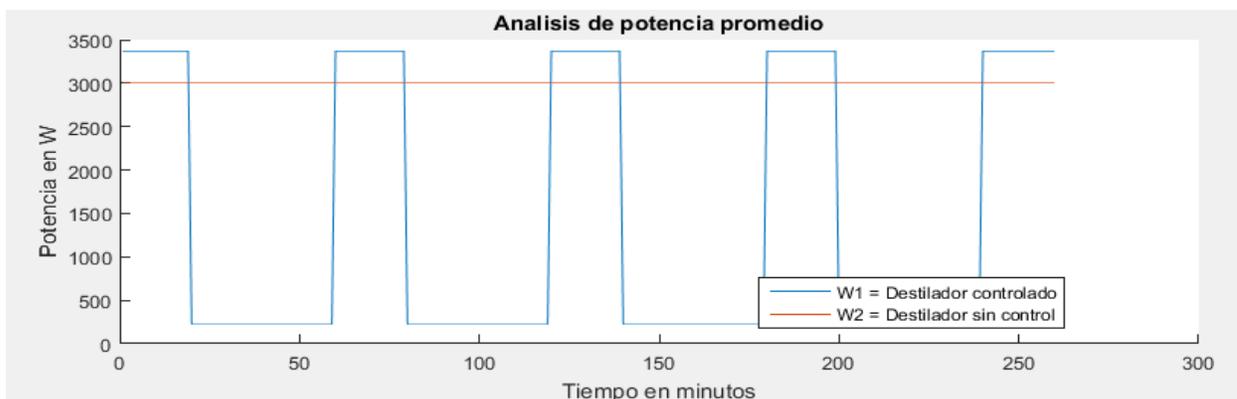


Ilustración 61 Potencia promedio

Potencia promedio del destilador sin control:

$$w2 = \frac{1}{t} \int_0^{60} 3000 dt$$

$$w2 = 3000W$$

Potencia promedio del destilador con control

$$w1 = \frac{1}{t} \int_0^{20} 3370 dt$$

$$w1 = 1123W$$

$$W1t = 1270W$$

$$w1 = \frac{1}{t} \int_{20}^{60} 220 dt$$

$$w1 = 147 W$$

Analizando la potencia promedio obtenemos el consumo real por hora de la maquina destiladora usando el control, el cual es un consumo mucho menor que el destilador sin control, por lo cual se reduce el consumo de la maquina por hora obteniendo un consumo responsable en energía y en ahorro de agua.

7.3.2 VENTAJA Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA DE CONTROL EN MAQUINA MONO DEST 3000N

VENTAJAS

1. Ahorro significativo en el gasto de agua potable.
2. Funcionamiento autónomo.
3. Corrección de erros de flujo y nivel.
4. Comodidad de operación.

DESVENTAJAS

1. Producción discontinua
2. Aumento de tiempo de producción
3. Ligero aumento en consumo energético



7.3.3 DESTOS TECNICOS DESTILADOR CONTROLADO

Tabla 10 Datos técnicos destilador controlado

Consumo	W aproximado	3600
Consumo promedio por hora	W/h	1270
Presión en entrada	Psi	30
Flujo de entrada	l/min	27
Temperatura agua de entrada	C	12
Temperatura agua de salida máxima	C	48
Tanque de almacenamiento agua de refrigeración	L	10
Tanque de almacenamiento agua destilada	L	20



7.3.4 CALIDAD DEL AGUA DESTILADA

La calidad del agua destilada obtenida también es importante al momento de validar el sistema, esto con el fin de mostrar si la calidad del agua se ve afectada por el nuevo funcionamiento del sistema, los criterios de calidad para el agua destilada son:

1. PH del agua
2. Conductividad del agua

Los valores de referencia usados para comparación son:

PH agua destilada = 7.0

Us el agua recién destilada

0.5 a 2 umhos/cm

Los valores obtenidos por el destilador sin control son:

PH= 5,69

Conductividad = 4,9 umhos/cm

Los valores obtenidos por el destilador con el sistema del control:

PH= 5,69

Conductividad = 4,9 umhos/cm

PH =5,61

Conductividad = 4,4



7.4 COSTO BENEFICIO

MATERIALES UTILIZADOS Y PRECIOS

Tabla 11 Lista de materiales y precios

CANTIDAD	COMPONENTE O MATERIAL	PRECIO
1	Motobomba	110.000
1	Unidad de enfriamiento	220.000
1	Fuente de energía DC	45.000
1	HC-SR04	6.000
1	TERMISTOR	5.000
2	Electroválvula	22.000 c/u
3	SSR	70.000
1	PSOC 5LP	72.000
1	YF-S201	15.000
x	Tubería	50.000
1	Pantalla Nokia 5110	12.000
x	Circuitería externa	100.000
2	Tanque de almacenamiento	28.000
	TOTAL	\$ 783.000

El costo del sistema es de 783.000 pesos lo cual es un precio económico si comparamos el precio que tiene un destilador de agua moderno que son amigables con el medio ambiente, los cuales



tiene un precio alrededor de 4,490,655.60 pesos (Durastill 8 GPD), además estos equipos se desarrollan en los estados unidos por lo cual es precio de compra aumentaría aún más, económicamente es mejor invertir en el desarrollo del sistema de control.

El benéfico no solo se debe limitar al punto de vista económico, ya que en realidad la importancia está en el ahorro significativo del agua que se logra por medio de este sistema, lo cual es un aporte fundamental al medio ambiente.

8 CONCLUSIONES

- La implementación del sistema embebido PsoC 5lp permitió gracias a sus componentes internos la reducción del circuito implementado, además la utilización del módulo analógico Termistor de la PsoC 5lp el cual en base a la hoja característica del sensor y las ecuaciones de Steinhart-Hart, facilito la lectura del sensor de temperatura NTC 3407, logrando el control de la unidad de enfriamiento, lo cual permitió realizar la refrigeración y de esta forma la reutilización del agua proveniente de la etapa de condensación del vapor de agua.
- El sistema embebido Psoc 5lp por medio del módulo de comunicación SPI facilita el manejo de la pantalla Nokia 5110, la cual junto con el teclado matricial forman la interface HMI que otorgo a los usuarios la posibilidad de configurar la cantidad de agua deseada, además permitió que el usuario pueda visualizar la cantidad de agua destilada existente.



- La implementación del sistema de control en la maquina destiladora monodest3000n dio como resultado un ahorro importante en el consumo de agua por parte de la máquina para su funcionamiento, para la producción de agua destilada se ahorran aproximadamente 98L de agua por litro de agua destilada, sin aumentar en gran medida el consumo eléctrico, sin embargo, se cuenta con falencias en el tiempo de producción debido a que el sistema no puede mantenerse en producción de manera continua por el aumento de la temperatura en el agua de refrigeración.
- Es importante continuar la investigación sobre los destiladores de agua, puesto que como se puede apreciar los resultados son muy prometedores con respecto al ahorro del agua y la producción de agua destilada es una demanda constante en los laboratorios universitario.



ANEXOS

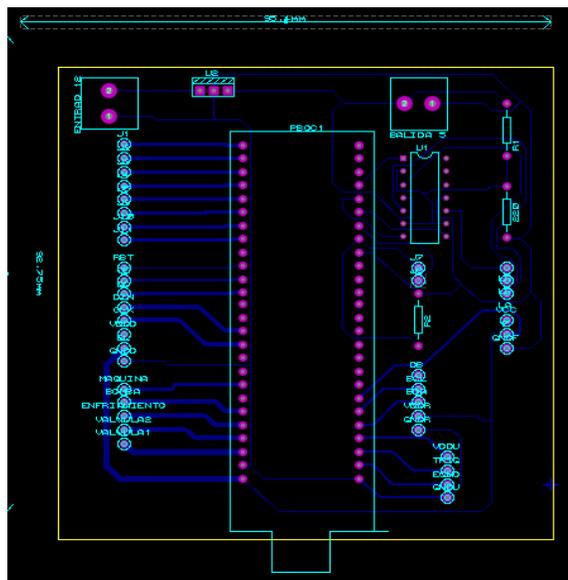
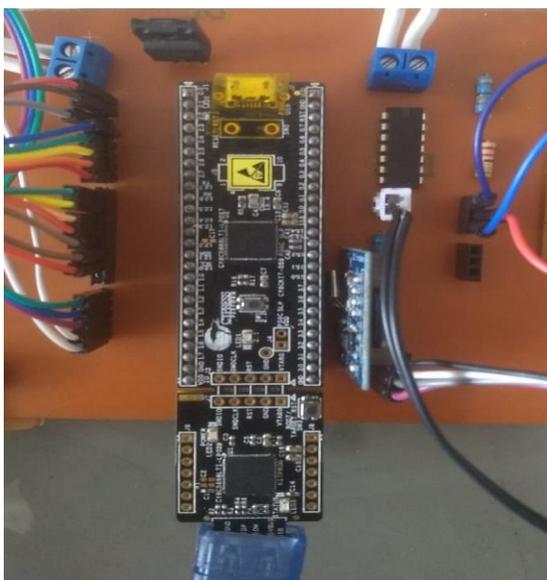


Ilustración 62 PCB Control

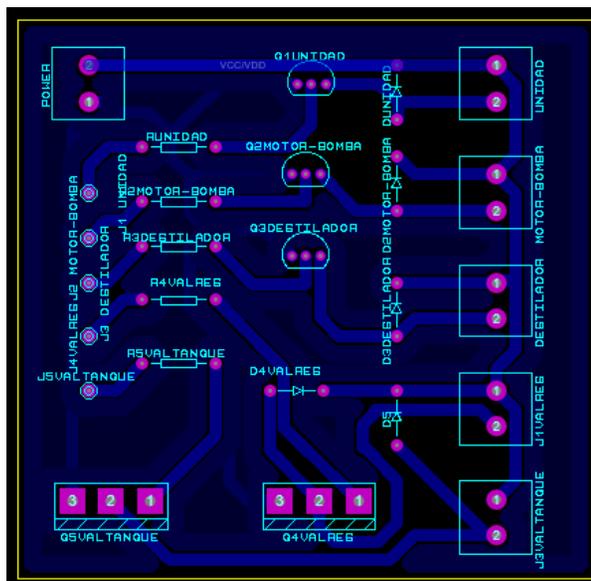


Ilustración 63 PCB potencia

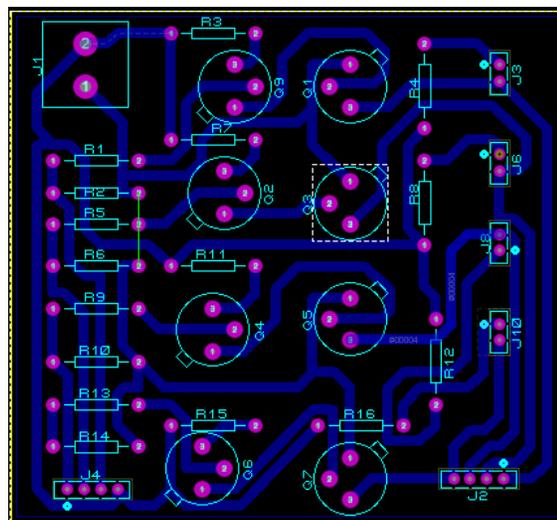


Ilustración 64 PCB sensor de nivel puntual



Ilustración 65 SSR conexiones



Ilustración 66 Unidad de enfriamiento



Ilustración 67 Pruebas de funcionamiento

CODIGO MEDICION DE TEMPERATURA CON TERMISTOR

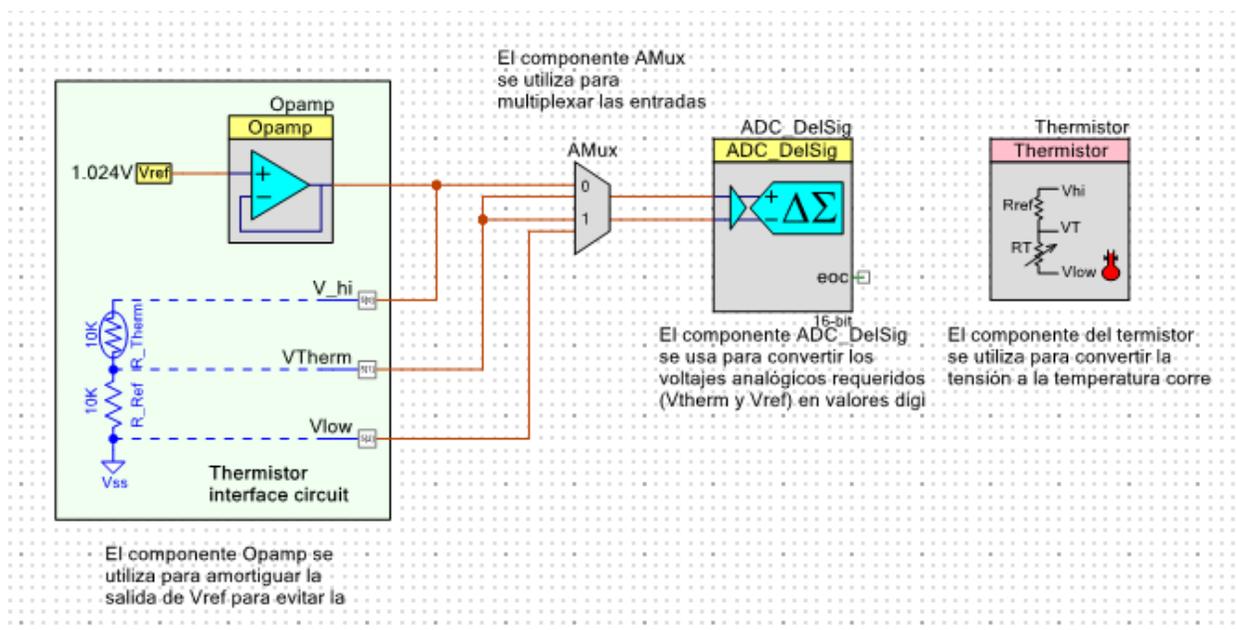


Ilustración 68 programación en bloque termistor- Adc-A.O.

PLANO P&ID DESTILADOR DE AGUA CONTROLADO

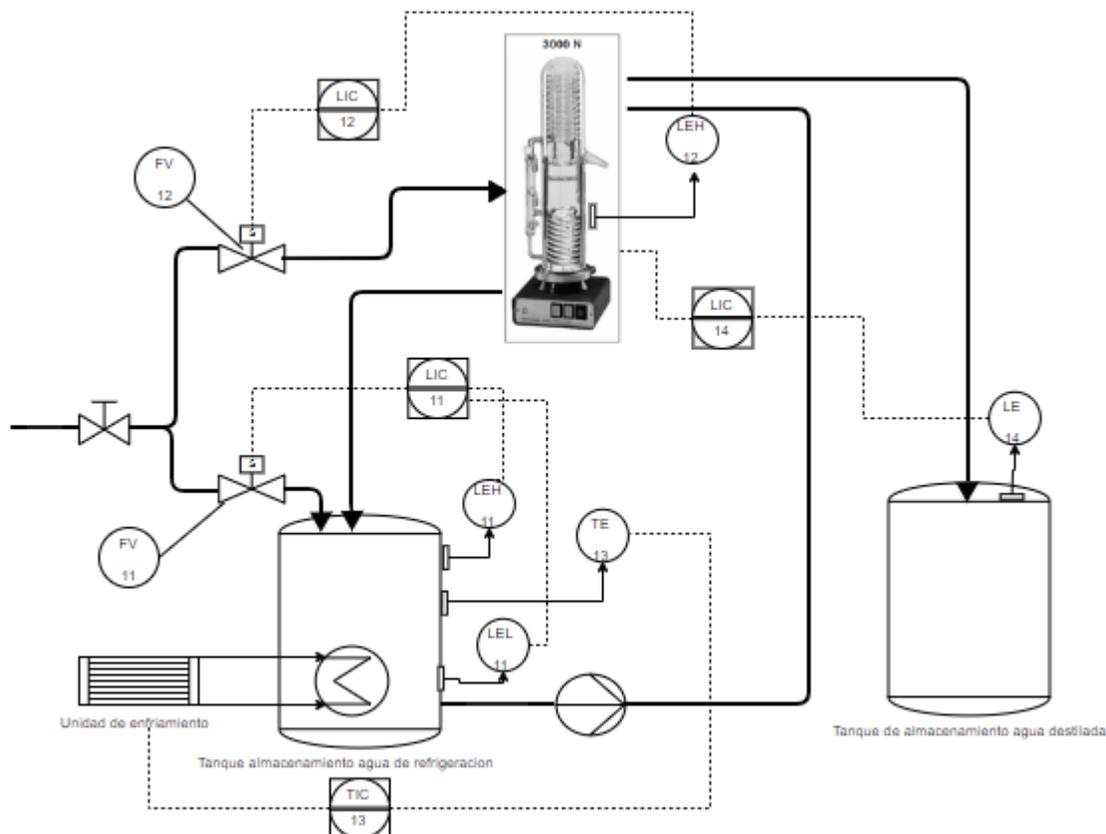


Ilustración 69 Plano P&ID



Ilustración 70 Interface HMI

TEMPERATURA(void)

```

{
    //Canal 0 (Termistor)
    amux_FastSelect(0); //seleccionar canal 0 del amux
    ADC_StartConvert(); //Empezar conversiones del ADC
    ADC_IsEndConversion(ADC_WAIT_FOR_RESULT); // Esperar por un resultado
    vterm = ADC_GetResult32(); // Guardar resultado en la variable vterm
    ADC_StopConvert(); // Parar conversiones del ADC

    //Canal 1 (Resistencia Referencia)
    amux_FastSelect(1); //Seleccionar canal 1 del amux
    ADC_StartConvert(); //Empezar conversiones del ADC
    ADC_IsEndConversion(ADC_WAIT_FOR_RESULT); //Esperar por un resultado
    vref = ADC_GetResult32(); // Guardar resultado en la variable vref
    ADC_StopConvert(); // parar conversiones del ADC

    termres = Thermistor_GetResistance(vref,vtherm); // obtener valores de resistencia del
    termistor
    termtemp = Thermistor_GetTemperature(Termresis); // obtener los valores de temperatura
    del termistor
    termistortemp = Termtemp/100.00; // correccion del formato para el termistor

    return (termistortemp);
}

```

CODIGO TECLADO Y PANTALLA NOKIA 5110

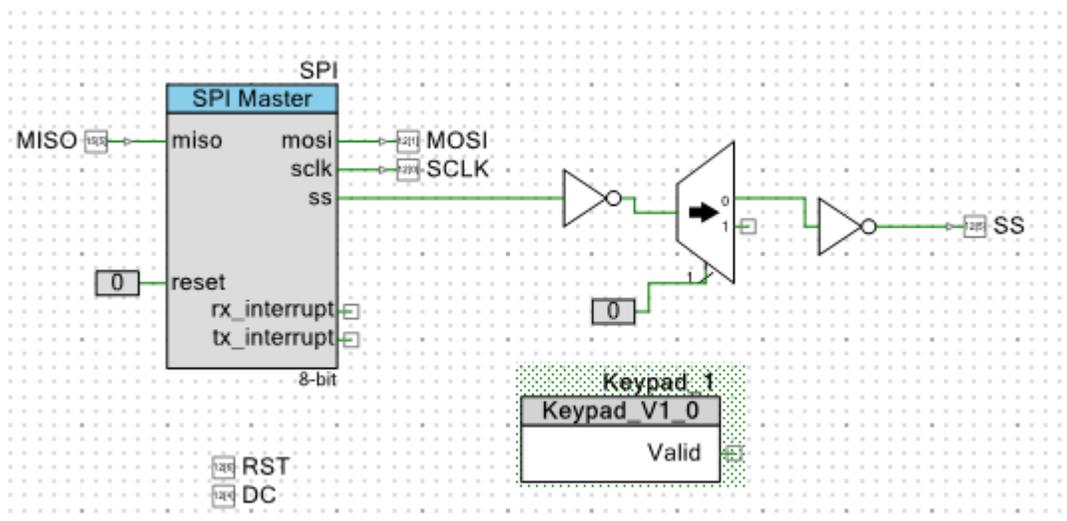


Ilustración 71 Programación en bloque pantalla-teclado

```

#include "cyfitter.h"
#include <device.h>

uint8 Keypad_1_GetCol(void)
{
    uint8 Col;

    while(!(Keypad_1_Status_Reg_Read() & 0x10)); //Wait for a valid press of button

    if(Keypad_1_Status_Reg_Read() & 0x10) //Check for a valid press of
button
    {
        Col = Keypad_1_Status_Reg_Read();
    }

    Col = (Col & 0x03);
    //Extract correct Column

    return (Col);
}

uint8 Keypad_1_GetRow(void)
{
    uint8 Row;

    while(!(Keypad_1_Status_Reg_Read() & 0x10)); //Wait for a valid press of button

    if(Keypad_1_Status_Reg_Read() & 0x10) //Check for a valid press of
button
    {
        Row = Keypad_1_Status_Reg_Read();
    }

    Row = (Row & 0x0C) >> 2; //Extract
correct Row

    return Row;
}

uint8 Keypad_1_GetButton(void)
{
    char8 Button;

    uint8 x,y;

```



```

x = Keypad_1_GetCol();

y = Keypad_1_GetRow();

Button=Keypad_1_Key[y][x];
    //Assign correct Character

while(!(Keypad_1_Status_Reg_Read() & 0x10)); //Wait for a valid press of button

return Button;
}

```

CODIGO LECTURA DE DISTANCCIA SENSOR HC SR04

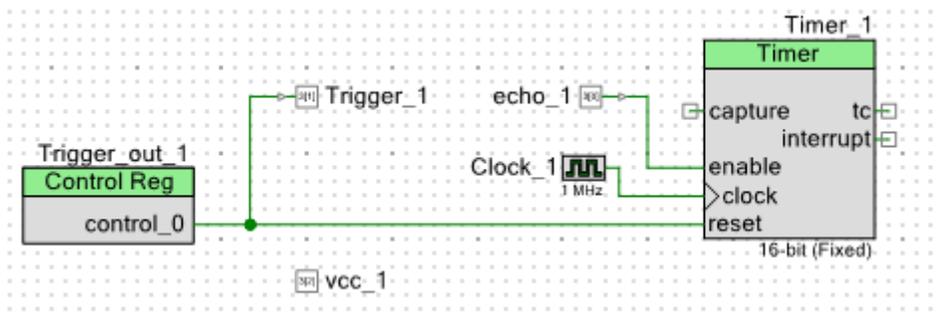


Ilustración 72 Programación en bloque hcsr04

```

float Dist2(void)
{
    while(echo_1_Read()==0)
    {
        Trigger_out_1_Write(1);
        CyDelay(10u);
        Trigger_out_1_Write(0);
        CyDelay(1);
    }
    while(echo_1_Read()== 1){};

    value_counter2 = 65535-Timer_1_ReadCounter();

    distancia2 = value_counter2 / 58.0 ;
}

```

```

    return(distancia2);
}

```

CODIGO CONDICIONALES DE VALVULAS

```

if((L_alto_Read()==1) && (L_bajo_Read()==1))
{
    VALVULA1_Write(1);
    LcdGoto(3,2);
    LcdStr("VALVULA1 ON",DRAW_XOR,Middle_Front);
}

if((L_alto_Read()==0) && (L_bajo_Read()==0))
{
    VALVULA1_Write(0);
    LcdGoto(3,2);
    LcdStr("VALVULA1 OFF",DRAW_XOR,Middle_Front);
    inicio = inicio +1 ;
}

if((L_alto_res_Read()==1))
{
    VALVULA2_Write(1);
    LcdGoto(3,2);
    LcdStr("VALVULA2 ON",DRAW_XOR,Middle_Front);
}

if((L_alto_res_Read()==0))
{
    VALVULA2_Write(0);
    LcdGoto(3,2);
    LcdStr("VALVULA2 OFF",DRAW_XOR,Middle_Front);
    inicio = inicio +1 ;
}

```



Bibliographic

Arnabat, I. (2018). Obtenido de <https://www.caloryfrio.com/refrigeracion-frio/que-es-torre-de-refrigeracion-enfriamiento-funcionamiento-seguridad.html>

Brand. (2004). *brand*. Obtenido de www.brand.de

controls, f. (2018). *fotek*. Obtenido de <http://www.fotek.com.tw/index4.asp>

Corporation, C. S. (2015). *Interrup*. San Jose, CA.

Cypress. (06 de July de 2017). Obtenido de <http://www.cypress.com/documentation/development-kitsboards/cy8ckit-059-psoc-5lp-prototyping-kit-onboard-programmer-and>

ecured.cu. (2017). *ecured.cu*. Recuperado el 2019, de https://www.ecured.cu/Sistema_embebido

elecfreaks.com. (s.f.). *elecfreaks.com*. Obtenido de <https://www.elecfreaks.com/>

Electronica unicrom. (s.f.). (Juan Tapia Farias) Obtenido de <https://unicrom.com/que-es-microcontrolador-psoc/>

electronica, 5. (2017). Obtenido de https://www.5hertz.com/index.php?route=tutoriales/tutorial&tutorial_id=11:
www.5hertz.com

electronics, M. (2018). *Makerlab electronics*. Obtenido de <https://www.makerlab-electronics.com/product/fotek-solid-state-relay-module-ssr-40da/>



emerson. (2019). *emerson.com*. Obtenido de <https://www.emerson.com/es-es/automation/measurement-instrumentation/level/point-level-detection>

EPCOS. (March 2006). *NTC thermistors for temperature measurement*. EPCOS AG.

F, k. (2016). Obtenido de https://agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/cultivos/otros/_archivos//000004_Sistemas%20de%20recirculaci%C3%B3n%20cerrada.pdf

HECTOR IVÁN REYES SIERRA, M. F. (2010). *MODELAMIENTO Y CONTROL DIGITAL DE TEMPERATURA PARA HORNO ELECTRICO*. Bogota .

Incorporated, T. I. (Julio 2014). *DRV8825*. Dallas, Texas: Texas Instruments Incorporated.

luis. (s.f.). <https://www.luisllamas.es>. Obtenido de <https://www.luisllamas.es/arduino-teclado-matricial/>

LUIS, L. Q. (2010). *DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN CONTROL AUTOMATICO PARA REDUCIR EL CONSUMO DE AGUA POTABLE EN EL DESTILADOR D-821.00 7L/H MARCA SCHOTT CUANDO SE LLEVA A CABO EL PROCESO DE OBTENCION DE AGUA DESTILADA EN LA EMPRESA PROVEO LTDA*. Pamplona.

Navarro, K. (15 de octubre de 2014). *Panamahitek*. Obtenido de <http://panamahitek.com/como-funciona-el-protocolo-spi/>

ogata, K. (2010). *INGENIERIA MODERNA DE CONTROL*. MADRID: PEARSON EDUCACIÓN.

OSPINO A, J. C. (2017). *Apuntes de Clase de Electrónica de Potencia*. Universidad de Pamplona.



OSPINO, J. C. (2016). *ELECTRÓNICA DE POTENCIA* . Pamplona- Colombia: Universidad de Pamplona.

paz, c. (2012). *instrumentos de laboratorio*. Recuperado el septiembre de 2018

pepperl-fruchs.com. (2019). Obtenido de https://www.pepperl-fuchs.com/global/es/classid_275.htm

Pérez, G. (2017). *hidrologico.com*. Recuperado el 30 de marzo de 2019, de <https://www.ciclohidrologico.com/condensacin>

quimico, l. (2018). *tp laboratorio quimico*.

Robredo, G. A. (2016). *Comparadores de voltaje*. Obtenido de www.unicrom.com: <https://unicrom.com/comparadores-de-voltaje/>

SEA. (2016). *mactronica.com.co*. Obtenido de <https://www.mactronica.com.co/sensor-de-flujo-yfs201-46054011xJM>

Semiconducto, C. (2015). *Universal Asynchronouns reciver transmitter (UART)*. California: Cypress Semiconductor Corporation.

Semiconducto, C. (2016). *Thermistor Calculator Component Datasheet*. San jose CA.

semiconductor, O. (2016). Obtenido de <http://onsemi.com>

SEMICONDUCTORS, P. (1999). Obtenido de WWW.NXP.COM

