



Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Villa María
Departamento de Electrónica
Cátedra Trabajo Final de Grado

Control Total para Colectores Solares Térmicos.

Trabajo Final de Grado para obtener el título de Ingeniero en Electrónica.

Autor/es:

FALCO, Boris Jesús
ZURRO, Nicolás Ángel.

2021

Acreditación:

Fecha: Miércoles 10 de Febrero de 2021

Comité Evaluador

Presidente: MSc. Ing. DANIZIO, Pedro Eduardo.

1° Vocal: Esp. Ing. FERRARI, Héctor Diego

2° Vocal: Ing. CATALANO, José Luis





Dedicatorias.

A nuestras familias, los cuales mediante su apoyo y esfuerzo hicieron posible culminar la educación universitaria.

A nuestros amigos, cuyo apoyo emocional se hizo presente en los momentos de duda e incertidumbre.

A nuestros profesores, quienes lograron inculcar tanto los conocimientos como la pasión por la electrónica.



Agradecimientos.

Agradecemos profundamente a nuestros padres, gracias a ellos pudimos permitirnos ser parte del 4.5% de la población argentina con estudios universitarios.

A nuestros compañeros de facultad, con los cuales compartimos este difícil y desafiante camino.

Al ingeniero Fabián Sensini, quien atendió nuestras consultas y brindó sus valiosos consejos.



Memoria Descriptiva.

En el presente proyecto se realizó el diseño e implementación de un sistema de control para Colectores solares térmicos, cuya finalidad es la de unificar la temperatura de agua caliente sanitaria provista por dicho CST a el hogar, así como también encargarse de activar y desactivar, de así disponerlo el usuario, un dispositivo de calentamiento de agua alternativo en caso de que la radiación solar sea escasa y la temperatura en el recinto no sea lo suficientemente alta. Además, cumplirá la función de relevar los datos del mismo y presentarlos en una interfaz humano-máquina para que el usuario configure la misma a gusto de una manera amigable, introduciendo el concepto de domótica.

La unificación de la temperatura del agua caliente sanitaria estará a cargo de una válvula mezcladora de diseño propio, la cual estará conectada a la salida del CST y a la salida del tanque de agua general de la vivienda. Dicha válvula mezclará las aguas a diferente temperatura entregando una salida uniforme y segura para su uso, ya sea para aseo personal como para tareas del hogar.

Cuando la radiación solar es escasa y se prolonga en el tiempo, como también el alto consumo de agua caliente en la vivienda, ocasionan que el CST no pueda elevar la temperatura del agua que contiene en su interior. Para evitar este problema, generando un déficit en la temperatura de mezcla deseada, contamos con el comando de una resistencia eléctrica de una potencia que ronda los 1500 W y 2000 W, siendo la central de manera autónoma la encargada de encenderla y apagarla teniendo en cuenta los parámetros de configuración impuestos por el usuario.

La interfaz humano-máquina estará a cargo de una aplicación para dispositivos móviles Android OS, la cual recibe los datos relevados por la central y enviará los datos de configuración hacia la misma mediante el sistema Bluetooth como medio de comunicación.

Para la central se implementó un microcontrolador manufacturado por Microchip de tipo PIC de la familia 18F de 8bits.



Índice.

Título	Página
Dedicatorias.	3
Agradecimientos.	4
Memoria Descriptiva.	5
1. Introducción.	9
1.1. Análisis del Problema.	10
1.1.1. Datos de los colectores solares térmicos.	10
1.1.2. Riesgos para el usuario.	12
1.2. Sistemas existentes.	14
1.2.1. Válvula mezcladora termostática.	14
1.2.1.1. Problema de las válvulas mezcladoras termostáticas.	14
1.2.2. Centrales digitales.	15
1.2.2.1. Full-Gauge, MT-512E.	15
1.2.2.2. TKDZ, TK-8A.	15
2. Agua caliente sanitaria.	16
3. Central de control digital.	17
3.1. Instrumentos de medición.	17
3.1.1. Sensor de temperatura digital DS18B20.	17
3.1.1.1. Características eléctricas del sensor DS18B20.	18
3.1.1.2. Sobre el DS18B20.	19
3.1.1.3. El bus 1-Wire.	20
3.1.1.4. Funcionamiento y configuración del DS18B20 en este trabajo.	21
3.1.2. Medidor de caudal YF-S201.	21
3.1.2.1. Características eléctricas del YF-S201.	22
3.1.2.2. Sobre el YF-S201.	22
3.1.2.3. Funcionamiento y configuración del YF-S201 en este trabajo.	22
3.2. Unidad de Registro Temporal.	23
3.2.1. Módulo RTC DS3231 (Real Time Clock – Reloj de tiempo real)	23
3.2.1.1. Características eléctricas del DS3231.	23
3.2.1.2. Sobre el módulo DS3231.	24
3.2.1.3. El protocolo I ² C.	25
3.2.1.4. Funcionamiento y configuración del DS3231 en este trabajo.	26



3.3.	Unidad de Transmisión de Datos.	26
3.3.1.	El módulo bluetooth HC-05.....	26
3.3.1.1.	Características electricas del HC-05.	27
3.3.1.2.	Sobre el HC-05.....	27
3.3.1.3.	Medio de comunicación Bluetooth.....	28
3.3.1.4.	Funcionamiento y configuración del HC-05 en este trabajo.....	29
3.4.	Microcontrolador PIC.....	29
3.4.1.	A cerca del microcontrolador PIC18F4550.....	30
3.4.2.	Configuración del Oscilador.	30
4.	Esquema eléctrico de la central y periféricos.	31
4.1.	Alimentación eléctrica del sistema.	31
4.2.	Microcontrolador.	32
4.3.	Instrumentos de Medición.	34
4.3.1.	Sensores de Temperatura.	34
4.3.2.	FlowSwitch.	34
4.3.3.	Sensor de tensión de batería 35	
4.4.	Dispositivos de Salida.	35
4.4.1.	Estado del microcontrolador.....	35
4.4.2.	Servomotor.....	35
4.4.3.	Resistencia eléctrica.	35
4.5.	Dispositivos de Comunicación.....	36
4.5.1.	Real Time Clock.	36
4.5.2.	Módulo Bluetooth HC-05 37	
5.	Acerca del Programa del Microcontrolador.....	38
5.1.	Rutina Principal 38	
5.2.	Subrutinas 40	
5.2.1.	Subrutina de Recepción y Envío de Datos a Aplicación 41	
5.2.1.1.	Caso Configuración de Fecha y Hora..... 42	
5.2.1.2.	Caso Configuración del Dispositivo. 43	
5.3.	Rutinas de Interrupciones 44	
5.3.1.	Interrupción USART..... 45	
5.3.2.	Interrupción CCP1 46	
6.	Acerca de la Aplicación Android OS. 46	
7.	La Válvula Mezcladora..... 52	



7.1.	Cuerpo.....	52
7.2.	Obturador.....	53
7.3.	Tapa.....	53
7.4.	Prensa Estopa.....	53
7.5.	Engranajes.....	53
8.	Montaje del Prototipo.....	54
9.	Conclusión.....	59
10.	Bibliografía.....	60

1. Introducción.

En el presente proyecto se realizó el control total de un CST (Colector Solar Térmico – Thermal Solar Collector), capaz de relevar el dato de temperatura del CST y actuar en consecuencia de ello teniendo en cuenta la configuración del usuario. En conjunto se diseñó una válvula con el propósito de mezclar agua su a distintas temperaturas y suministrar la resultante a una temperatura segura y prefijada por el usuario, evitando accidentes domésticos con ella.

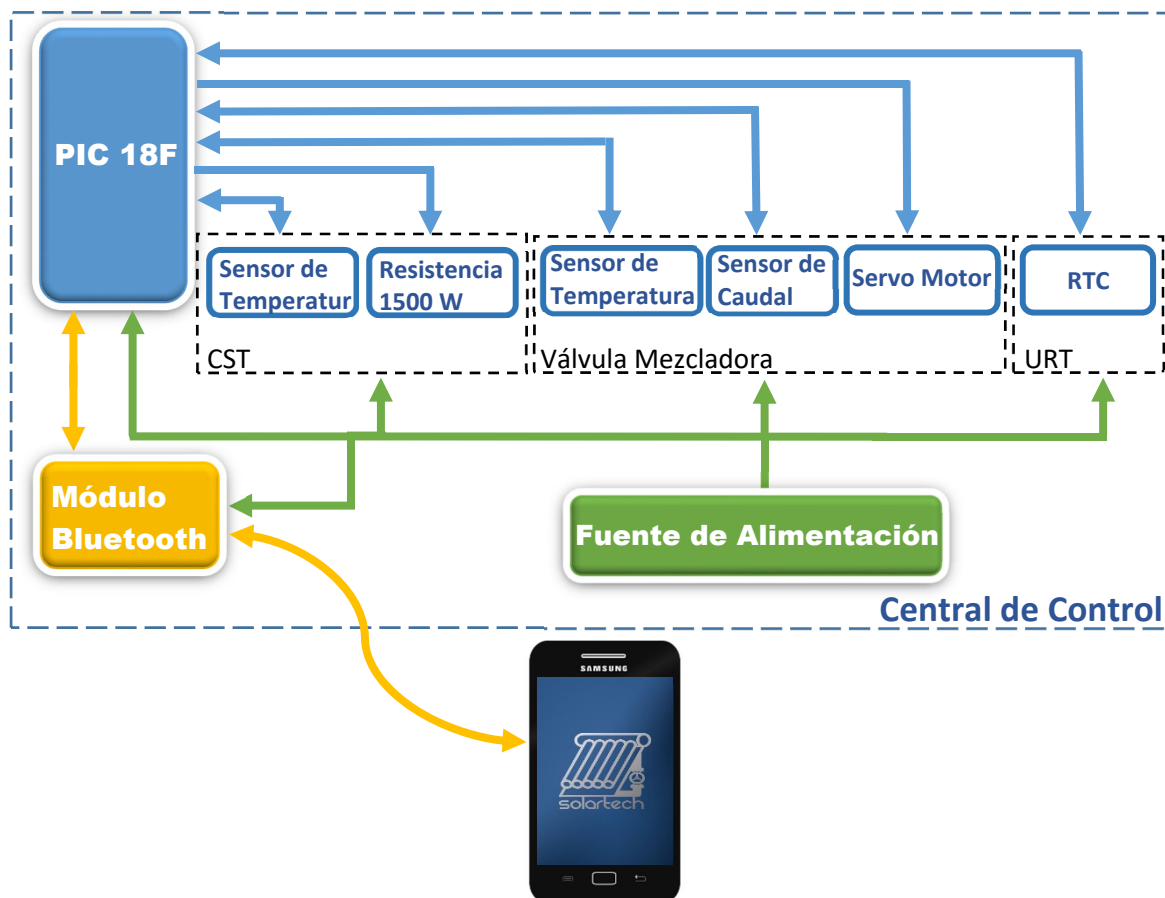


Fig. 1. Diagrama en bloques del sistema completo.

El primer gran bloque corresponde a la central propiamente dicha, dotada con todos los componentes y sensores que hacen a su funcionamiento. Mediante estos se encarga de hacer las mediciones y los ajustes que sean necesarios, cumpliendo la programación fijada por el usuario.

- **Microcontrolador PIC18F:** Opera como la unidad principal de todo el dispositivo. Encargado de dar las directivas a los sensores digitales y tomar sus datos, ordenar al actuador de la válvula (servo motor) y activar o desactivar la resistencia de ser necesario.
- **Sensores de temperatura:** Se implementan dos sensores digitales sumergibles, ubicados en la vaina porta sensor incluida de serie en el CST y otro en la válvula mezcladora ubicado en la salida de la misma. El primero tiene el propósito de mostrar al usuario la temperatura del



CST y de servir como temperatura inicial, mientras que el segundo es implementando para cotejar la temperatura seleccionada por el usuario con la real de mezcla y servir de retroalimentación para el proceso de mezclado.

- **Servo Motor:** Cumple la función de actuador de la válvula, controlando la apertura y cierre de los caudales de agua caliente proveniente del CST y el agua fría suministrada por el tanque de agua de la vivienda.
- **Sensor de Caudal:** Se utiliza para detectar cuando el usuario abre un punto de extracción, dotando al control de una respuesta más rápida y certera.
- **URT:** Unidad de registro temporal, dotada por un Reloj de Tiempo Real (Real-Time Clock), utilizado para programar el comportamiento calendario del usuario, aumentando así la eficiencia del equipo y el ahorro.
- **Módulo Bluetooth:** Es implementado en el proceso de comunicación entre la central y el dispositivo móvil del usuario, recibiendo la configuración establecida por el usuario y enviando los datos operativos a este.
- **Fuente de Alimentación:** dotada de un panel solar, un sistema de carga y una batería, independizando al sistema de la red eléctrica.
- **Dispositivo Android OS:** Consta de una aplicación dotada con las funciones para configurar la central y visualizar el estado del sistema en su totalidad.

1.1. Análisis del Problema.

1.1.1. Datos de los colectores solares térmicos.

Los Colectores Solares Térmicos se componen de un receptor o colector de energía y de un tanque de acumulación o sistema de almacenamiento. El receptor de energía capta la radiación solar, cómo las moléculas de aire atmosférico, con la diferencia que en lugar de aumentar su temperatura al punto tal de comenzar a irradiar energía ellas mismas, los CST transmiten esa energía a un líquido calo portador en su interior, que por lo general se trata de agua.

Actualmente en el mercado existen dos tipos de colectores solares. Los CST de Tubos de Vacío (CSTts) y los CST de placa plana (CSTpp).

Los CSTpp capturan las ondas electromagnéticas del espectro irradiado por el sol y en conjunto con el efecto invernadero transforman dicha energía en calor transmitiéndola al líquido calo portador.

Por su parte los CSTts absorben la radiación directa del sol, gracias a sus tubos de alto vacío no reflejan ni dejan escapar esta energía, siendo el tipo de CST con el rendimiento más elevado.

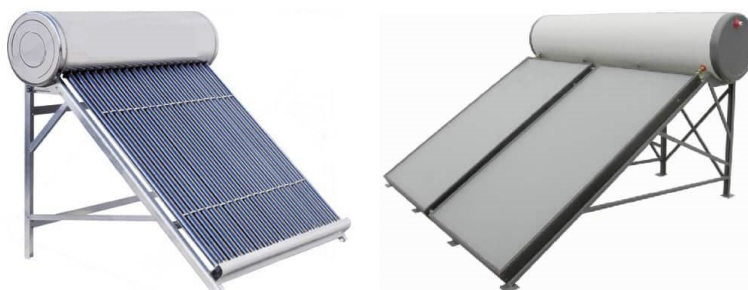


Fig. 2. Colector solar de tubos de vacío vs. De placa plana.

Todos los CST calientan el líquido en su interior gracias al efecto termosifón o de circulación natural. Donde podemos apreciar los tres efectos de propagación de la energía: Radiación, Conducción y Convección.

El efecto termosifón, corresponde al movimiento natural de los fluidos cuando se calientan por efecto de los fenómenos de transmisión de energía mencionados. La sustancia o líquido cal portador se dilata, disminuyendo su densidad produciendo así, una circulación natural del mismo. Considerando la masa total del fluido, la porción más fría corresponde a la de mayor densidad, en otras palabras, más pesada. Caso contrario con la porción más caliente, siendo de menor densidad.

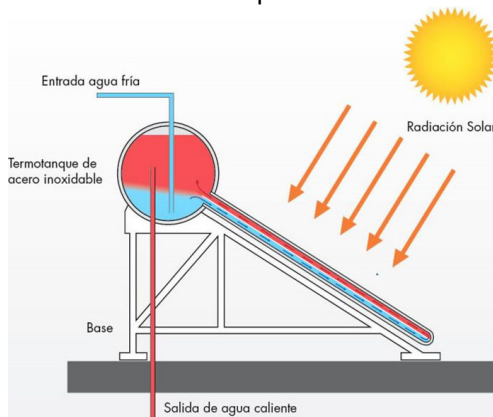


Fig. 3. Efecto termosifón o circulación natural.

Los CTS normalmente instalados en las viviendas son de carácter atmosféricos o directos, siempre y cuando dicha vivienda no posea una bomba de presión, de lo contrario se deberá utilizar otro colector solar térmico, perteneciente a la familia Heat-Pipe.

Que sea atmosférico o directo hace referencia a que la presión de trabajo, es la provista por la altura del tanque de acumulación de la vivienda, siendo esta comprendida entre los $0.300 [bar]$ y $0.350 [bar]$. Si la presión de la casa es superior a esta, o bien no posee tanque de acumulación, es decir, está conectada directamente de la red, se utiliza un tanque de pre llenado para asegurar el suministro de líquido al equipo, evitando recalentamientos en el mismo.

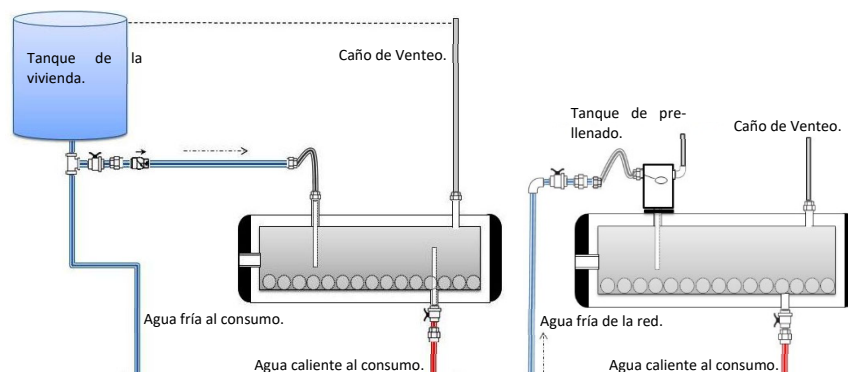


Fig. 4. Llenado de un CST atmosférico.

Para que el efecto de circulación natural tenga efecto, el equipo debe estar lleno en su totalidad o, dicho en otras palabras, inundado. Al llenar el equipo, hay que valerse del principio de vaso comunicante entre los tanques, de la vivienda y de acumulación del CST. Es decir, se llena por gravedad, alcanzando el nivel de pelo de agua (límite superior de flotación) que es determinado por la altura del flotante en el tanque de la vivienda.

1.1.2. Riesgos para el usuario.

Un colector solar térmico de tubos de vacío es capaz de lograr que el agua en su interior alcance temperaturas de hasta 100 °C, convirtiéndose en un potencial riesgo para los usuarios de esta tecnología, debido a que por descuidos en su utilización pueden ocasionarse quemaduras de distintos grados en la epidermis.

Cuando los días de excesiva radiación solar se repitan, el líquido calo portador alcanza fácilmente temperaturas cercanas al punto de ebullición, y en conjunto con una mala utilización o falta de mantenimiento, puede ocasionar el pasaje de agua a alta temperatura, resultando en quemaduras corporales, las cuales variaran su grado dependiendo de la zona de contacto, temperatura del líquido y tiempo de exposición. Estas pueden clasificarse de la siguiente manera:

- **Quemaduras de Primer Grado:** afectan únicamente la epidermis, o capa externa de la piel. El sitio de la quemadura es rojo, doloroso, seco y sin ampollas. Las quemaduras leves del sol son un ejemplo. Es raro el daño de largo plazo al tejido y generalmente consiste de un aumento o disminución del color de la piel.



Fig. 5. Quemadura de primer Grado.

- **Quemadura de Segundo Grado:** este tipo de quemaduras están caracterizadas por ser una quemadura parcialmente profunda y/o superficial, desembocando en la formación de ampollas o bolsas de agua e inflamaciones.

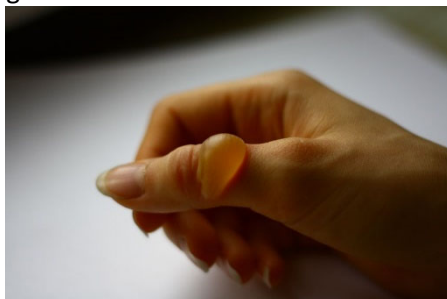


Fig. 6. Quemadura de segundo grado.

- **Quemadura de tercer grado:** Las quemaduras de tercer grado destruyen la epidermis y dermis y pueden dañar el tejido subcutáneo. La quemadura puede verse blanca o carbonizada. La zona afectada pierde sensibilidad.



Fig. 7. Quemadura de tercer grado.

1.2. Sistemas existentes.

1.2.1. Válvula mezcladora termostática.

Es un dispositivo diseñado para mezclar agua fría y caliente en sistemas cerrados y de calefacción, mediante la variación del paso común de ambas vías accionado por un material termo sensible, previniendo quemaduras para el usuario y mejorando el rendimiento de la instalación.

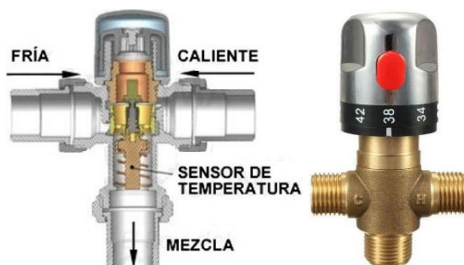


Fig. 8. Válvula mezcladora termostática.

Esta válvula trabaja con fluctuaciones en la temperatura de agua que dilata y contrae alternativamente el sensor de temperatura, restringiendo el paso de las entradas, el cual posee una contra fuerza a resorte regulada por el usuario. Con este principio de funcionamiento el dispositivo trata de mantener el envío a temperatura constante.

Tabla de datos de la Válvula mezcladora Termostática.		
Medio	Agua	
	Valor	Unidad
Presión de trabajo.	máx. 10	bar
Temperatura máx.	90	°C
Margen de Regulación.	30 a 60	°C
Caudal con ΔP 1bar.	25	l/min.

Tab. 1. Datos de operación de la Válvula Termostática.

1.2.1.1. Problema de las válvulas mezcladoras termostáticas.

Como vemos, la válvula presente en el mercado funciona gracias a un material sensible a la temperatura que se dilata o se contrae, permitiendo mayor o menor cantidad de caudal de las entradas de agua, la principal problemática de dichas válvulas nace en que están diseñadas para que el diferencial de temperatura, denominado salto térmico, se mantenga estable como lo es en sistemas de calefacción. En los casos implementados en agua caliente sanitaria, el salto térmico es elevado y variable, traduciéndose en una salida errónea en la mayoría de los casos.

El segundo punto problemático a tener en cuenta yace en las presiones de trabajo y caudales de salida. Teniendo en cuenta que en una instalación normal de una vivienda tipo el caudal nominal ronda los 8 [l/min] y la presión máxima es la comandada por la altura del depósito de la misma, siendo comprendida entre 0.3 y 0.35 [bar], desemboca en una obstrucción del flujo de agua normal

por la cañería, debido a las presiones nominales de diseño de la válvula, son superiores a las permitidas en los equipos atmosféricos. En sistemas cerrados, como calefacción o equipos Heat-Pipe, este no se traduciría un problema gracias a que requiere la implementación de una bomba presurizadora.

1.2.2. Centrales digitales.

1.2.2.1. Full-Gauge, MT-512E.

Es una central digital pensada para usos de refrigeración y calefacción, siendo la primera aplicación la más utilizada. La aplicación para calefacción es posible mediante modificación de sus parámetros internos programables.



Fig. 9. Controlador digital MT-512E

Opera únicamente como indicador de temperatura y es capaz de accionar cargas de hasta 2 [HP] gracias a que posee un conmutador relee de 16 [A]. Cuenta con un sensor tipo NTC para realizar el relevamiento de la temperatura.

Tabla de datos del controlador digital MT-512E.		
Alimentación.	115 V _{ac} o 230 V _{ac}	
	Valor	Unidad
Temperatura de operación.	0 a 50	°C
Temperatura de control.	-50 a 105	°C
Resolución.	0.1	°C
Potencia máxima de carga.	2	HP

Tab. 2. Datos generales del controlador MT-512E

1.2.2.2. TKDZ, TK-8A

Controlador digital diseñado exclusivamente para energía solar térmica aplicada a agua sanitaria. Posee un controlador cableado el cual permite tener monitorear y controlar la temperatura interna del recinto como el nivel de líquido.



Fig.10. Controlador digital TK-8A.

Con este controlador el usuario puede monitorear el llenado del tanque, controlar el nivel de agua, y la temperatura de la misma, mediante el uso de sensor de temperatura, sensor de nivel de líquido y electroválvula para controlar el llenado del equipo.

Tabla de datos del controlador digital TK-8A.		
Alimentación.	230 V _{ac}	
	Valor	Unidad
Temperatura de operación.	0 a 50	°C
Temperatura de control.	0 a 99	°C
Precisión	±2	°C
Potencia máxima de carga.	1500	W

Tab. 3. Datos generales del controlador TK-8A.

2. Agua caliente sanitaria.

En muchos países, el agua caliente sanitaria es considerado un servicio básico y obligatorio. Destinada para consumo humano, principalmente en baños, duchas y tareas de aseo del hogar, ya sea pisos, lavado de vajillas, etc.

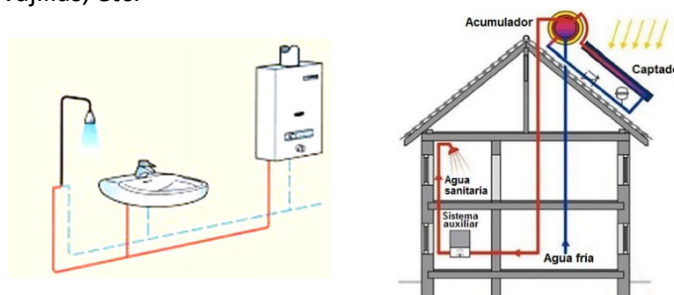


Fig. 11. Instalación tradicional vs. Instalación energía solar térmica con apoyo tradicional.

A la hora de ducharse, existen diferencias entre las temperaturas que resultan placenteras para el cuerpo humano, siendo aproximadamente comprendidas entre 48 – 45 [°C] y 43 – 40 [°C], para hombres y mujeres. En el caso del aseo del hogar, la temperatura optima a la cual se realizan las tareas, se comprende entre 60 – 50 [°C].

3. Central de control digital.

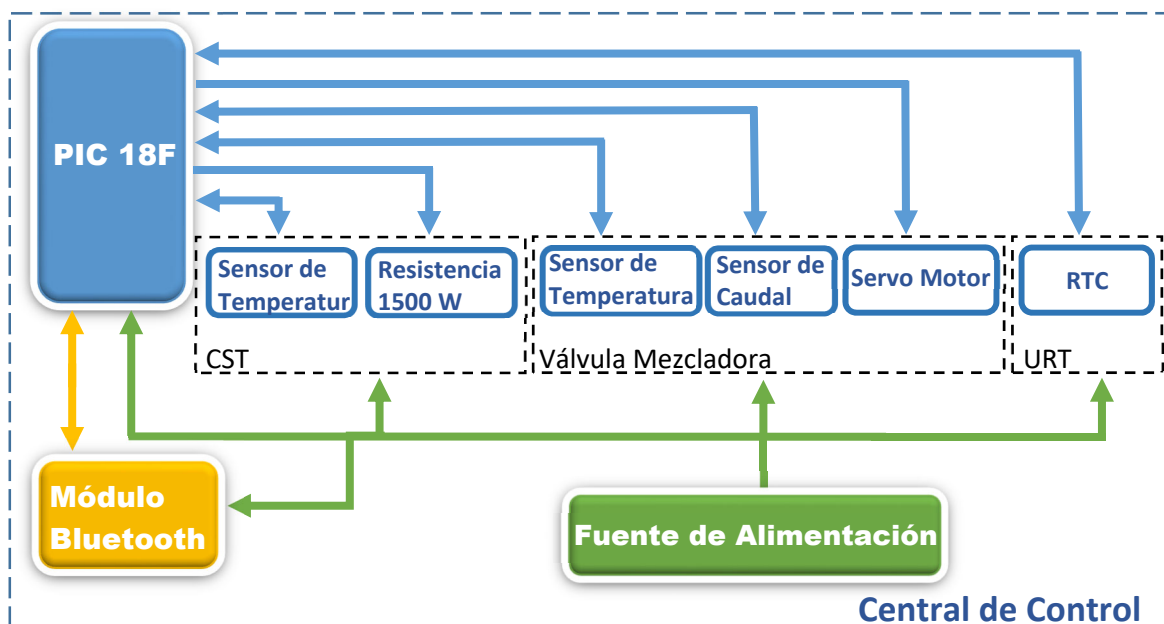


Fig. 12. Diagrama en bloque de la central de control.

En el diagrama en bloque presentado como Fig. 1. Podemos observar la representación del sistema completo. Centrándonos únicamente en la central de control digital Fig. 12. podemos diferenciar cinco partes principales: instrumentos de medición, instrumentos de control, módulo de comunicación, microcontrolador, y fuente de alimentación.

En primer lugar, se hará una descripción de los instrumentos de medición y de control, especificaciones y configuración, seguido por el módulo de comunicación bluetooth y el porqué de su elección. Posteriormente la fuente de alimentación y por último el microcontrolador PIC18F y su configuración.

3.1. Instrumentos de medición.

3.1.1. Sensor de temperatura digital DS18B20.

Es un sensor de temperatura digital diseñado por Maxim Integrated, el cual provee la temperatura en grados Celsius comprendida en resoluciones de *9-bit* a *12-bit*. El mismo opera en el protocolo de comunicación 1-Wire (1-Linea), el cual, como su nombre lo indica todos los datos viajan por un bus monoconductor.

Cada sensor contiene un único código de serie de *64-bit* permitiendo que múltiples sensores basados en el protocolo 1-Wire puedan conectarse en el mismo bus. Comercialmente está disponible en 3 tipos de empaquetados (encapsulados).

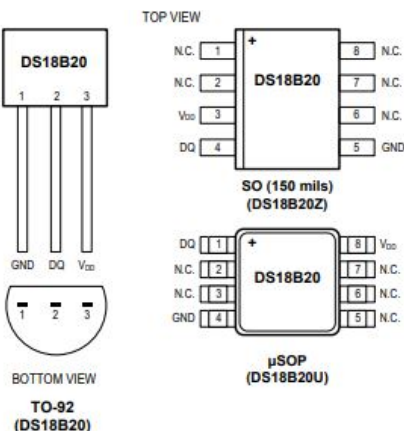


Fig. 13. Pin-Out y empaquetados.

El encapsulado TO-92 presenta una segunda alternativa, la cual es sumergible. Corresponde al mismo tipo de sensor, recubierto en su totalidad por una vaina de aluminio, y sellado en el extremo del cableado.



Fig. 14. TO-92 y su alternativa sumergible.

3.1.1.1. Características eléctricas del sensor DS18B20.

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	V_{DD}	Local power (Note 1)	+3.0		+5.5	V
Pullup Supply Voltage	V_{PU}	Parasite power	+3.0		+5.5	V
		Local power	+3.0		V_{DD}	
Thermometer Error	t_{ERR}	-10°C to +85°C			±0.5	°C
		-30°C to +100°C			±1	
		-55°C to +125°C			±2	
Input Logic-Low	V_{IL}	(Notes 1, 4, 5)	-0.3		+0.8	V
Input Logic-High	V_{IH}	Local power	+2.2		The lower of 5.5 or $V_{DD} + 0.3$	V
		Parasite power	+3.0			
Sink Current	I_L	$V_{I/O} = 0.4V$	4.0			mA
Standby Current	I_{DDS}	(Notes 7, 8)		750	1000	nA
Active Current	I_{DD}	$V_{DD} = 5V$ (Note 9)		1	1.5	mA
DQ Input Current	I_{DQ}	(Note 10)		5		μA
Drift		(Note 11)		±0.2		°C

Tab. 4. Datos eléctricos del sensor DS18B20.

Este sensor admite dos modos de energización o de funcionamiento: External Supply (Alimentación Externa), y en Parasite power mode (Alimentación modo Parasito).

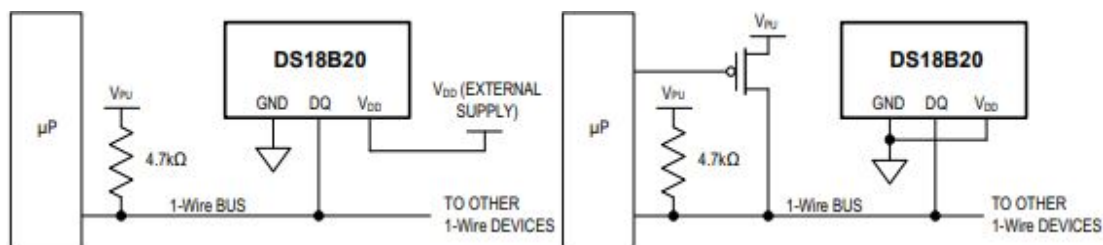


Fig. 15. Con alimentación externa. vs. Con alimentación modo parasito. []

El sensor puede ser alimentado por una fuente externa, conectada en su pin denominado como V_{DD}, o bien funcionar en modo parásito sin necesidad de conectar dicha fuente externa, siendo una opción muy utilizada cuando las distancias de cableado son muy largas. Ambos modos de alimentación deben estar referenciados a masa mediante el pin GND. Si trabajamos en Parasite Power, para asegurar que el bus tenga una corriente de alimentación adecuada es menester dotar el bus 1-Wire de un pull-up, por ello la presencia del transistor MOSFET en la Fig. 15, activándose siempre que se realice una lectura de temperatura o una escritura en la EEPROM del sensor. Cabe destacar que, ninguna otra operación puede tomar el bus 1-Wire cuando el pull-up está activo, y este modo de alimentación es recomendado para mediciones de temperaturas menores a 100 [°C].

3.1.1.2. Sobre el DS18B20.

En el diagrama en bloques mostrado en la Fig. 16, podemos observar la composición interna del sensor DS18B20, y sus registros. La ROM de 64-bit es el registro no volátil donde se almacena el código serial de identificación único de cada sensor. El bloque de registro SCRATCHPAD (Anotador) contiene un registro de temperatura de 2-byte donde se guarda el dato digital adquirido por el sensor y 2 registros de alarma disparados por alta y baja temperatura. También se encuentra un registro de 1-byte de configuración, donde se seleccionará entre otros parámetros la resolución de lectura y entrega de los datos. Estos últimos dos son registros no volátiles, es decir una vez configurados y guardados en la EEPROM no se borrarán más allá de que el dispositivo se apague. Por último, contiene 8-bit más que corresponden a la generación del CRC (Código de Redundancia Cíclica), utilizado para encontrar el código de serie único de 64-bit.

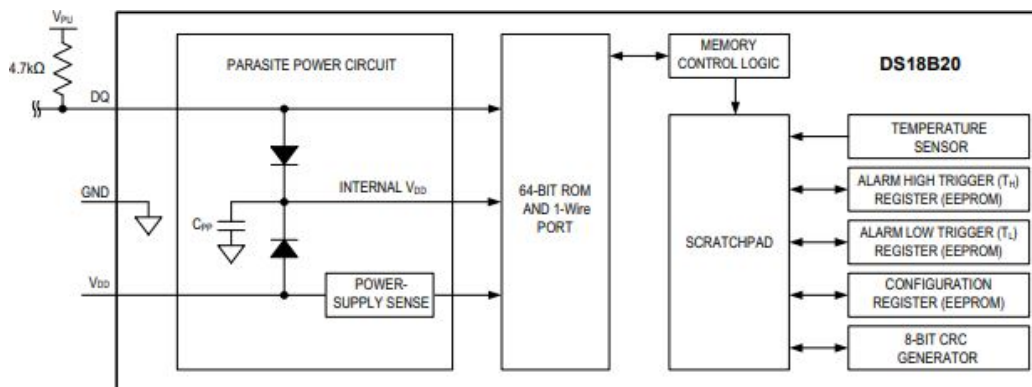


Fig. 16. Diagrama en bloques interno del sensor DS18B20.

3.1.1.3. El bus 1-Wire.

Es un sistema de bus de comunicación, diseñado por Dallas Semiconductor Corp., actualmente Maxim Integrated. capaz de proporcionar datos, señalización y alimentación por una sola vía de conducción. Es un protocolo similar a I²C, con la salvedad de que se desempeña a menor velocidad, alrededor de 16.3 [kbps], y mayor distancia de alcance. Por lo general se utilizan en dispositivos pequeños tales como, termómetros digitales o estaciones meteorológicas. Implementa un modo de funcionamiento tipo maestro – esclavo.

Cada dispositivo 1-Wire contiene un código de serie de 64-bit único e inalterable, programado de fábrica para darle dirección al mismo dispositivo.

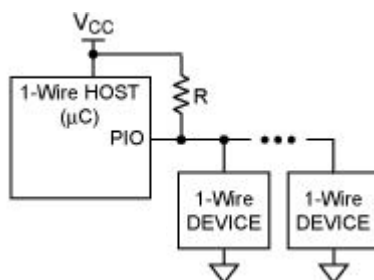


Fig. 17. Conexión del bus 1-Wire.

Es un sistema digital basado en voltajes, sensible a la temporización del mismo y funciona con dos contactos, dato y tierra, generando una comunicación bidireccional y half-duplex. Los dispositivos 1-Wire, están diseñados para un uso de contacto momentáneo, es decir, al desconectarse los dispositivos quedan en un estado de reinicio definido, cuando el voltaje vuelve los dispositivos despiertan, e indican presencia.

El ciclo de ocupación del bus comienza con un ciclo de reinicio y detección de presencia, Fig. 18 (a). Para ello el master del bus debe realizar cambio de estado alto a bajo. Cabe destacar que el estado de espera (idle) es alto, debido a la presencia de la resistencia pull-up. Todo este ciclo tiene una duración total de 960 [µS]. Una vez que el dispositivo responde “presencia” pueden comenzar los ciclos de escritura o lectura, según dicte la operación a realizar.

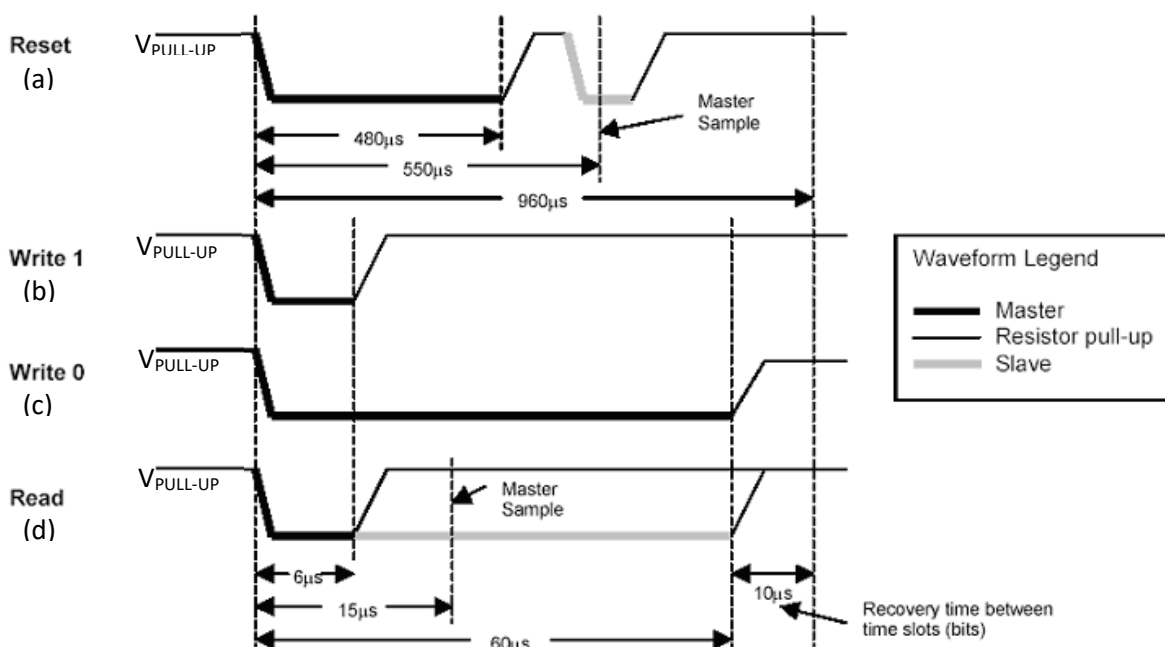


Fig. 18. Temporización del bus 1-Wire.

3.1.1.4. Funcionamiento y configuración del DS18B20 en este trabajo.

Se utiliza en modo de alimentación con una fuente externa de 5[V]. La misma se conecta a los pines V_{DD} y GND del sensor, mientras que el pin DQ lleva una resistencia pull-up de 4.7[k Ω]. El pin DQ se conecta al microcontrolador mediante el bus 1-Wire, configurado con los siguientes parámetros.

- Interrupciones para la adquisición de datos, deshabilitada.
- Resolución de 12 bits, por defecto.

3.1.2. Medidor de caudal YF-S201.

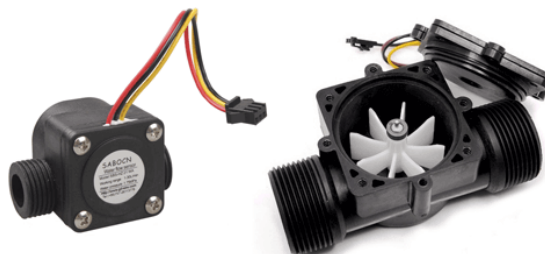


Fig. 19. Caudalímetro YF-S201.

El caudalímetro es un sensor utilizado para medir la cantidad de fluido que circula por una tubería, su nombre deriva del término Caudal, siendo una relación entre el volumen de líquido que circula en una tubería por unidad de tiempo [l/min].



3.1.2.1. Características eléctricas del YF-S201.

El sensor contiene 3 pines de salidas, los cuales corresponden a VDD, GND, y DQ.

Parámetro	Símbolo	Valor		Unidad.
		Min	Max.	
Voltaje de alimentación	VDD	5	18	V
Consumo de corriente	I	15		mA
Voltaje de salida	V _o	5		V
Temperatura de funcionamiento	T	-25	80	°C
Tipo de sensor	Sensor de efecto Hall.			

Tab. 5. Características del caudalímetro YF-S201.

3.1.2.2. Sobre el YF-S201.

Es un sensor electrónico a turbina, de bajo costo y de precisión considerable, presentando un error de $\pm 2\%$ sobre la medición. Su funcionamiento simple se basa en que el flujo de agua impacta sobre las aspas de la turbina generando un movimiento rotacional de la misma, una de las aspas contiene un material ferromagnético ubicado de forma tal que en cada revolución es detectado por un sensor de efecto hall. Dicho sensor entrega pulsos de una amplitud estable de 5[V] formando un tren de pulsos correspondiente a las revoluciones. Gracias a ello podemos medir casi con exactitud el caudal de la tubería, simplemente con la relación dada entre la frecuencia de los pulsos y una constante del sensor.

$$Q[L/min] = f[hz]/K \quad (\text{Ecu. 1})$$

Dicha constante es especificada por el fabricante, el caudalímetro implementado en este proyecto es de un diámetro de $\frac{3}{4}$ " por lo que su K corresponde a 5,5.

3.1.2.3. Funcionamiento y configuración del YF-S201 en este trabajo.

Este dispositivo no necesita configuración previa de ningún registro para comenzar a utilizarse, basta con detectar los pulsos de salida por el pin DQ y efectuar los cálculos pertinentes para medir el caudal de líquido.

En este proyecto estará ubicado en la boca de salida de la válvula, precisamente entre la misma y el sensor de temperatura de mezcla. Será utilizado para detectar el flujo de líquido optimizando el tiempo de respuesta de la válvula a la hora de efectuar las correcciones de mezcla, evitando así que la misma realice ajustes de temperatura cuando no hay consumo de agua, previniendo desgastes en las partes mecánicas de la misma.

3.2. Unidad de Registro Temporal.

Es una unidad destinada a que el usuario cree patrones de utilización del agua caliente sanitaria, definiendo horarios que copie la rutina del hogar, garantizando así, que la energía sea implementada de una manera responsable y ecológica, sacando de funcionamiento a la válvula y a la resistencia calentadora cuando la presencia de personas en el hogar sea nula. Para dicha función esta unidad está dotada de un RTC capaz de llevar el registro temporal (fecha y hora), y almacena la configuración horaria semanal separada en tres partes. La primera comprende los cinco días hábiles. La segunda contempla los sábados y la tercera los domingos. Sin importar el rango de días que se desee configurar, se dispondrá de 2 franjas horarias por cada uno en los cuales se realizara en control del sistema.

3.2.1. Módulo RTC DS3231 (Real Time Clock – Reloj de tiempo real)

Es un periférico compuesto por un chip RTC DS3231, un chip de memoria EEPROM de 8 [kBytes] y un slot para incorporar una batería CR2032. Es diseñado por Maxim Integrated, adquiere la ventaja de que es extraordinariamente preciso y de bajo costo. Se comunica con el microprocesador mediante el bus I²C, este módulo es capaz de arrojar el tiempo en horas, minutos y segundos, así también como la fecha compuesta por el día de la semana, numerado del 1 al 7, el día del mes, diferenciando los meses de 30 y 31 días, el número de mes y de año. También hay que destacar que reconoce años bisiestos.



Fig. 19. Módulo RTC DS3231.

El RTC puede operar en modos 24h o 12h incluyendo las siglas PM y AM en el formato de 12h. La batería funciona como respaldo, cuando todo el sistema se apaga, manteniendo el módulo en funcionamiento, evitando que se pierda la precisión y el tiempo configurado.

3.2.1.1. Características eléctricas del DS3231.

El módulo admite un rango de tensiones desde 2.3 [Vdc] a 5.5 [Vdc], aplicados entre los pines V_{CC} y GND. También nos brinda la posibilidad de contar con una batería de respaldo en casos de que se corte la energización o que este por debajo de los umbrales necesarios. El módulo aplica unas series de condiciones para determinar cuándo es necesario conmutar entre V_{CC} y V_{BAT} teniendo en cuenta una tercera variable de tensión, denominada V_{PF} (Voltaje de falla de alimentación – Power-Fail Voltage) cuyo rango de valores lo podemos apreciar en la Tab. 6.



PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	V_{CC}		2.3	3.3	5.5	V
	V_{BAT}		2.3	3.0	5.5	V
Logic 1 Input SDA, SCL	V_{IH}		0.7 x V_{CC}		$V_{CC} + 0.3$	V
Logic 0 Input SDA, SCL	V_{IL}		-0.3		0.3 x V_{CC}	V
Active Supply Current	I_{CCA}	(Notes 4, 5)	$V_{CC} = 3.63V$		200	μA
			$V_{CC} = 5.5V$		300	
Standby Supply Current	I_{CCS}	I ² C bus inactive, 32kHz output on, SQW output off (Note 5)	$V_{CC} = 3.63V$		110	μA
			$V_{CC} = 5.5V$		170	
Temperature Conversion Current	I_{CCCONV}	I ² C bus inactive, 32kHz output on, SQW output off	$V_{CC} = 3.63V$		575	μA
			$V_{CC} = 5.5V$		650	
Power-Fail Voltage	V_{PF}		2.45	2.575	2.70	V
Logic 0 Output, 32kHz, \overline{INT}/SQW , SDA	V_{OL}	$I_{OL} = 3mA$			0.4	V
Logic 0 Output, \overline{RST}	V_{OL}	$I_{OL} = 1mA$			0.4	V
Output Leakage Current 32kHz, \overline{INT}/SQW , SDA	I_{LO}	Output high impedance	-1	0	+1	μA
Input Leakage SCL	I_{LI}		-1		+1	μA
\overline{RST} Pin I/O Leakage	I_{OL}	\overline{RST} high impedance (Note 6)	-200		+10	μA
V_{BAT} Leakage Current (V_{CC} Active)	I_{BATLKG}			25	100	nA

Tab. 6. Características eléctricas del DS3231.

SUPPLY CONDITION	ACTIVE SUPPLY
$V_{CC} < V_{PF}, V_{CC} < V_{BAT}$	V_{BAT}
$V_{CC} < V_{PF}, V_{CC} > V_{BAT}$	V_{CC}
$V_{CC} > V_{PF}, V_{CC} < V_{BAT}$	V_{CC}
$V_{CC} > V_{PF}, V_{CC} > V_{BAT}$	V_{CC}

Tab. 7. Condiciones de alimentación.

La Tab. 7 nos presenta las condiciones de alimentación, mencionadas en el párrafo anterior. Como podemos ver, la única variante en la alimentación del módulo, es cuando la tensión de alimentación es menor a la tensión de la batería y a su vez menor a la tensión de falla, lo que puede ser traducido fácilmente en un corte repentino de la alimentación. Es en ese momento donde la batería sirve como soporte al módulo.

3.2.1.2. Sobre el módulo DS3231.

En el diagrama en bloques mostrado en la Fig. 20 podemos observar la estructura interna del módulo y las interacciones entre sus partes, algunas son: la interface del bus I²C que se encarga de la comunicación entre el módulo y el microprocesador, los registros de configuración y de datos, la lógica de control y divisores de reloj, cuya tarea, entre otras, es la de generar una señal de 1[Hz] de frecuencia, que sirve para cuenta del reloj en tiempo real.

Una de las principales características es la precisión de entrega de datos, presentando un error que se acerca a ± 2 minutos por año.

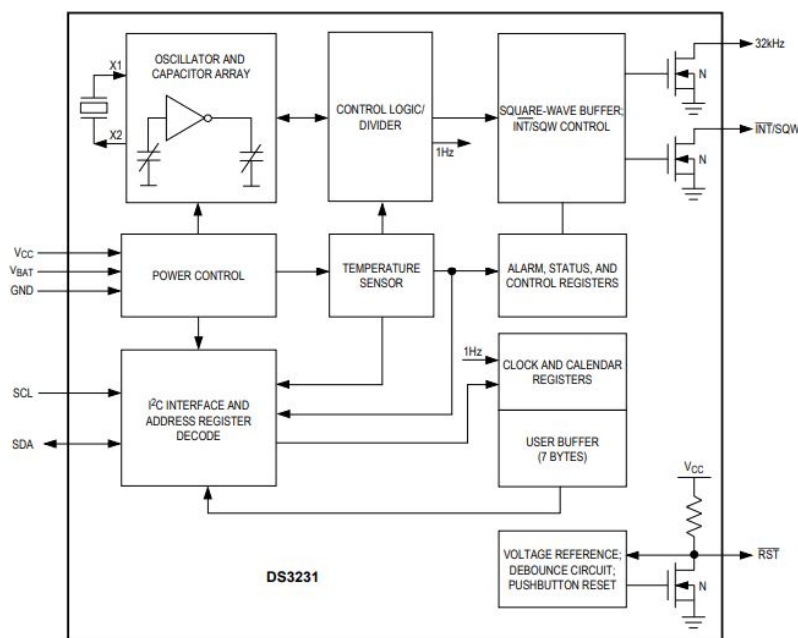


Fig. 20. Diagrama en bloques del módulo RTC DS3231.

3.2.1.3. El protocolo I²C.

El protocolo I²C, por sus siglas en inglés Inter-Integrated Circuit (Circuito Inter-Integrado) desarrollado por Phillips Semiconductor, actualmente NXP Semiconductor. Es un protocolo de comunicación serie utilizado principalmente para la comunicación entre partes de un circuito, usualmente entre un controlador y dispositivos periféricos. La principal ventaja es la velocidad de transferencia de datos o de comunicación comprendidas entre 100 [kbits/s] a 1000 [kbits/s] y además la posibilidad de conectar varios dispositivos al mismo bus, permitiendo hasta 127 de ellos.

Este protocolo fue diseñado para servir como un bus de comunicación tipo maestro – esclavo(master-slave) donde el inicio de la comunicación siempre está en manos del maestro del bus.

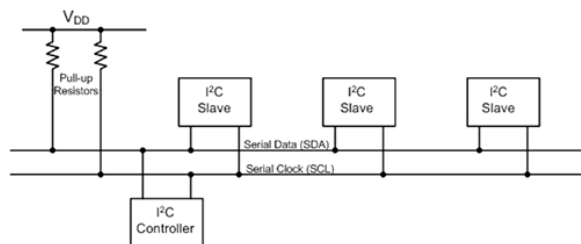


Fig. 21. Esquema de conexionado del bus I²C.

Como podemos ver en la Fig. 21, el bus necesita dos líneas para poder establecer la comunicación y correcta transferencia de datos, las cuales se diferencian como: Señal de reloj (Serial Clock – SCL) y Señal de datos (Serial Data – SDA). A estas dos líneas es necesario dotarlas de una resistencia pull-up cada una hacia V_{DD}, debido a que los dispositivos que se conectan a la misma son de colector abierto. El bus trabaja con lógica positiva, siendo que un estado alto en su línea SDA representa un 1 lógico y caso contrario, un estado bajo representa un 0 lógico.

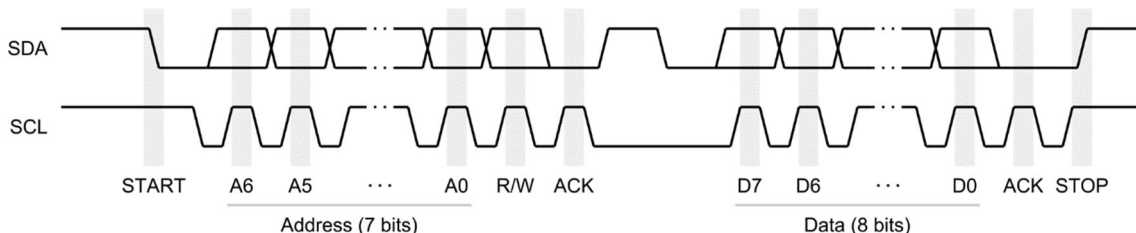


Fig. 22. Temporización del bus I²C.

Como hemos mencionado anteriormente es un bus basado en la comunicación tipo maestro – esclavo, donde dicho maestro funciona como árbitro del bus, dando las directivas de ocupación y disponibilidad del mismo. El inicio de una operación o toma del bus, viene dado por la siguiente lógica, la señal SCL permanece en estado alto mientras que en SDA se detecta un flanco de bajada (pasa de 1 a 0). Posteriormente el maestro escribe la dirección (address) del dispositivo esclavo con el cual quiere comunicarse. Si el address es correcto el dispositivo esclavo responde con la secuencia de reconocimiento (Acknowledge – ACK), poniendo a disposición del maestro la transferencia de datos. El bus es liberado por directiva del maestro con la secuencia siguiente, SCL permanece en estado alto mientras que en la señal SDA se detecta un flanco ascendente (pasa de 0 a 1).

3.2.1.4. Funcionamiento y configuración del DS3213 en este trabajo.

Como se describió al principio de la sección, este módulo es el corazón de la Unidad de Registro Temporal, liberando al micro-controlador de llevar el registro horario y calendario. Para su funcionamiento no necesita configuración alguna, es de carácter Plug and Play. Implicando que no se han modificado las direcciones (Address) para encuestarlo y posteriormente adquirir los datos, así tampoco, se alteraron registros internos y frecuencias. La velocidad de comunicación es la del bus I²C y el mismo dispone de los datos actualizados cuando se lo solicita.

3.3. Unidad de Transmisión de Datos.

3.3.1. El módulo bluetooth HC-05

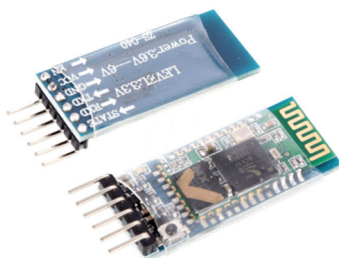


Fig. 23. Módulo bluetooth HC-05.

El HC-05 es un módulo Bluetooth SPP Serial Port Protocol (Protocolo Puerto Serie), en otras palabras, es un nodo bluetooth conectado a una interfaz de datos en serie diseñada para una transmisión inalámbrica de datos entre dos dispositivos.

3.3.1.1. Características eléctricas del HC-05.

Parámetro	Símbolo	Valor		Unidad.
		Min	Max.	
Voltaje de alimentación	VDD	3.3	6	V
Consumo de corriente	I	30		mA
Voltaje de salida	V _o	3.3		V
Potencia de transmisión	P _t	+4		dBm
Frecuencia de trabajo	F	2.4		GHz

Tab. 8. Características eléctricas del HC-05

El módulo pertenece a la familia de circuitos integrados tipo TTL, Transistor – Transistor Logic (Lógica Transistor – Transistor), como podemos observar la tensión de salida para la comunicación es de 3.3 [V], traduciéndose en un problema a la hora de complementarlo con un microcontrolador, debido a que no soporta salidas de esta tensión. Para solventar este inconveniente es necesario implementar un adaptador de niveles lógicos, donde se aplica un convertor de tensiones bidireccional de 3.3[V] a 5[V].

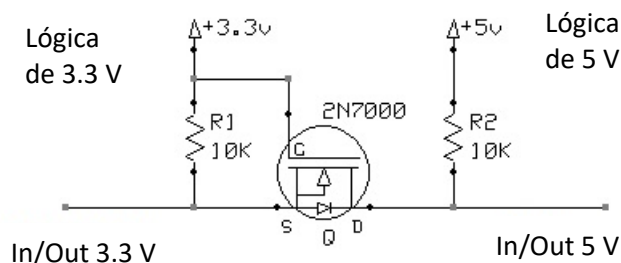


Fig. 24. Adaptador de niveles lógicos.

3.3.1.2. Sobre el HC-05.

Muchos módulos bluetooth del mercado funcionan como esclavos, es decir, reciben conexiones de otros dispositivos para transmitir datos. A diferencia de estos, el HC-05 tiene la principal ventaja de ser un módulo maestro-esclavo entonces, no solo recibe las conexiones de otros dispositivos como Celulares, PC, etc., sino que es capaz de generar las propias hacia otros dispositivos, dando lugar a conexiones punto a punto entre un dispositivo y un microcontrolador para transferencia de datos.

El HC-05 soporta un protocolo Bluetooth V2.0 + EDR, el cual como veremos más adelante posee un ancho de banda de 3 [Mbps/s]. Este módulo precisa configurarse previamente a su primera utilización, la misma se realiza utilizando comandos, conocidos como, comandos Hayes o comandos AT. Estos, conforman un lenguaje desarrollado por Hayes Communications. Actualmente es uno de los estándares para la configuración de periféricos y/o módems con este propósito. Los parámetros a configurar para su correcto funcionamiento son: velocidad de comunicación (en baudios), el rol del módulo, es decir, maestro o esclavo, un nombre y un PIN de acceso.

En el ámbito de comunicación con el microcontrolador, disponemos del protocolo de datos en serie RS232, convirtiéndolo en un módulo muy versátil ya que es un protocolo presente en casi todos los microcontroladores del mercado.

3.3.1.3. Medio de comunicación Bluetooth.

Bluetooth es una especificación industrial para redes inalámbricas de área personal (WPAN – Wireless Personal Area Network), desarrollado por Bluetooth Special Interest Group, Inc. Es de corto alcance de emisión, de bajo consumo y a su vez basado en transceptores de bajo costo.



Fig. 25. Logotipo comercial del protocolo Bluetooth

Este protocolo de comunicación, permite la transmisión de voz y datos mediante un enlace de radiofrecuencia en la banda para los instrumentos industriales, médicos y científicos (ISM – Industrial, Scientific and Medical), cuya frecuencia base o banda base es la de $2.4[GHz]$, esta misma se utiliza para las redes Wi-Fi y todos los sistemas relacionados con conexiones inalámbricas o wireless.

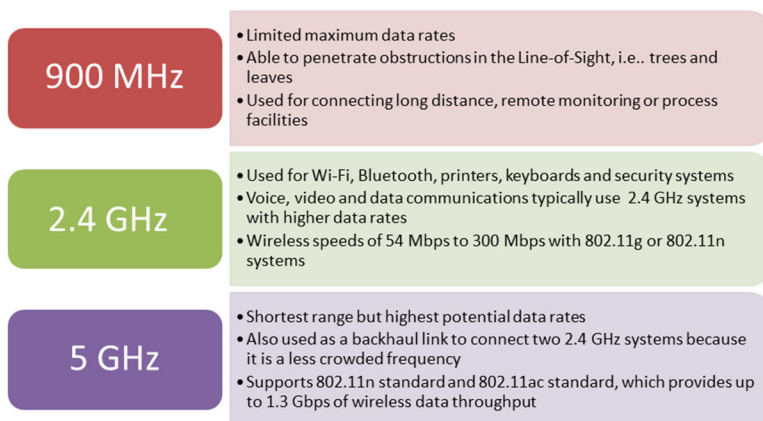


Fig. 26. Bandas ISM.

Los dispositivos dotados con este protocolo, pueden comunicarse entre sí cuando se encuentran dentro del radio de alcance. Como se mencionó anteriormente la comunicación es inalámbrica por radiofrecuencia y podemos diferenciar su potencia en clases.

Clase.	Potencia máxima permitida. [mW]	Potencia máxima permitida. [dBm]	Alcance aprox. [m]
Clase 1	100 [mW]	20 [dBm]	100 [m]
Clase 2	2.5 [mW]	4 [dBm]	5 – 10 [m]
Clase 3	1 [mW]	0 [dBm]	1 [m]
Clase 4	0.5 [mW]	-3 [dBm]	0.5[m]

Tab. 9. Tabla de clases y potencias del protocolo bluetooth.



La mayoría de los dispositivos comerciales y de uso común están dentro de la clase 2. Otra forma de diferenciarlos es mediante su capacidad de canal o ancho de banda.

Versión	Ancho de banda
Versión 1.2	1 [Mbit/s]
Versión 2.0 + EDR	3 [Mbit/s]
Versión 3.0 + HS	24 [Mbit/s]
Versión 4.0	32 [Mbit/s]
Versión 5.0	50 [Mbit/s]

Tab. 10. Versiones y anchos de banda del protocolo bluetooth.

Como mencionamos anteriormente el módulo HC-05 es identificado como Bluetooth de Versión 2.0 + EDR. Esta versión fue lanzada en 2004 y se compatibiliza con la versión anterior, trayendo como novedad la tasa de datos mejorada (EDR – Enhanced Data Rate) para acelerar la transferencia de los mismos, además de beneficiar en menos consumo debido a un ciclo de trabajo reducido.

3.3.1.4. Funcionamiento y configuración del HC-05 en este trabajo.

La utilidad y el funcionamiento que va a tener el módulo en este proyecto fue mencionada y abordada en varios puntos anteriormente. La configuración aplicada al módulo se basó en parámetros de identificación, seguridad y parámetros de transmisión de datos serie. Gracias a los comandos AT o Hayes, podemos personalizar el dispositivo, dotándolo de un nombre y una contraseña de acceso, previniendo la conexión e intervención de otro sujeto que pueda alterar la configuración del usuario.

Haciendo referencia a la conexión con el microcontrolador, la configuración del bus UART se mantuvo como la precargada por defecto, siendo la velocidad de *9600 [baud]* y una transmisión asíncrona sin bit de paridad. Optamos por una comunicación a buffer lleno, donde el de recepción posee un tamaño de 10 bits y al de emisión de se le otorga un tamaño libre.

3.4. Microcontrolador PIC.

Como única y principal unidad de control y procesamiento digital de la central se utilizó un circuito integrado programable (PIC – Programmable Integrated circuit), **PIC18F4550**, manufacturado por Microchip Technology. Es un microcontrolador de 8 bits de alto desempeño y baja potencia, con una amplia gama de periféricos. Integrandos diversos protocolos de comunicación, siendo esto, esencial para la adquisición de datos de los distintos sensores, periféricos y actuadores que necesitan ser empleados en este proyecto. Es un microprocesador muy versátil, contando con un reloj interno (internal clock) lo suficientemente rápido para la adquisición de datos y su procesamiento. Además, posee una relación costo/calidad que lo hacen una excelente opción este desarrollo.



3.4.1. A cerca del microcontrolador PIC18F4550.

Este microcontrolador comparte familia con otros tres controladores de similares características. Se alimentan con una tensión comprendida entre 4.2[V] a 5 [V], siendo el ultimo valor el nominal, garantizando el correcto funcionamiento del mismo en todo el rango de frecuencias. Este rango, está comprendido entre 4[MHz] a 48[MHz] con un oscilador externo y es capaz de generar su propia frecuencia con un oscilador interno, alcanzando valores desde 31[kHz] hasta 8[MHz]. Este rango de frecuencias nos permite alcanzar un numero de 24[MIPS] (millones de instrucciones por segundo). Además, está dotado de los puertos y canales necesarios para comunicarse perfectamente con los periféricos y dispositivos accionables, tales como UART, I²C, PWM, etc.

Device	Program Memory		Data Memory		I/O	10-Bit A/D (ch)	CCP/ECCP (PWM)	SPP	MSSP		EUSART	Comparators	Timers 8/16-Bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					SPI	Master I ² C™			
PIC18F2455	24K	12288	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F2550	32K	16384	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4455	24K	12288	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4550	32K	16384	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3

Tab. 11. Prestaciones y características del PIC18F4550. [3]

3.4.2. Configuración del Oscilador.

Se decidió utilizar un cristal de cuarzo externo de 8 [MHz] como reloj para el microcontrolador, cuya frecuencia es final, es decir, no se somete a ningún divisor de frecuencia o prescaler. La principal condición de la adopción de este cristal externo y obviar la utilización del proporcionado internamente por el microcontrolador, siendo de la misma frecuencia, se encuentra en la fiabilidad y precisión del cristal de cuarzo frente al oscilador RC interno. Esta frecuencia le proporciona al microcontrolador una velocidad de operación de 4[MIPS].



4. Esquema eléctrico de la central y periféricos.

En los siguientes párrafos, se describirá de manera generalizada el conexionado entre la fuente de alimentación, el microcontrolador y los módulos antes expuestos para de esta manera dar una idea al lector de cómo se energizará y comunicará la central logrando el control del sistema de manera autónoma.

4.1. Alimentación eléctrica del sistema.

Basándonos en la premisa ecológica de los colectores solares, para la alimentación eléctrica del sistema se buscó una solución acorde, con la ayuda de la tecnología de paneles solares que viene incrementando su presencia en el mercado argentino.

La energía para la totalidad del sistema de control es obtenida de una batería, la cual será recargada mediante un panel solar. De esta manera se logra la independencia de las energías sucias, siendo estas utilizadas únicamente en el caso de que el usuario así lo desee para el aumento de temperatura mediante resistencia eléctrica.

Para la energización del sistema de control, se utilizará una batería de ácido plomo de $12 [V] - 75 [Ah]$ la cual se recargará mediante el uso de un panel solar de $10[W]$. Esta opción se abordó, debido a que el sistema cuenta con la premisa de controlar de forma autónoma y ecológica el ingreso de agua caliente sanitaria a la vivienda haciendo uso de la energía solar para el incremento de temperatura de la misma, por lo que el hecho de que necesitar energía de red para su uso, generaría una dependencia de los beneficios ecológicos de un colector solar térmico a la denominada energía sucia de red.

Dicho lo anterior, y como se podrá observar más adelante, todo el sistema podrá continuar funcionando en caso de que la energía de red faltase, con la salvedad de que no se podrá disponer del calentamiento de agua por resistencia térmica debido al gran consumo que esta generaría a la batería dispuesta. Observando la configuración esquemática del circuito correspondiente al sistema de alimentación mostrado en la Fig. 27, podemos diferenciar 3 partes fundamentales.

- **Alimentación de red:** Corresponde a la tensión alterna, que es suministrada por el ente proveedor de turno. Es utilizada para poner en funcionamiento la resistencia eléctrica de calentamiento, si el usuario así lo dispone.
- **Alimentación de corriente continua:** Generada mediante el uso de una batería, proporciona suministro a los dos reguladores, encargados de estabilizar adecuadamente las tensiones para el sistema.
- **Cargador Fotovoltaico:** El mismo, está compuesto por un panel fotovoltaico de $10[W]$ de potencia pico, acompañado de un circuito de carga con corte automático que evita la sobrecarga en el acumulador.

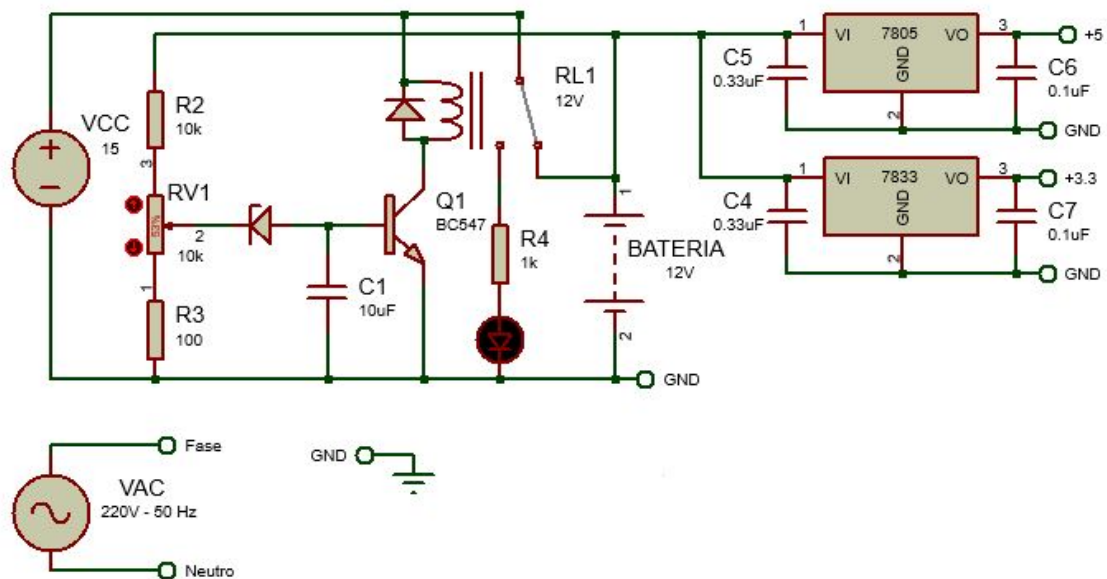


Fig. 27. Esquema eléctrico de la alimentación.

4.2. Microcontrolador.

En este apartado se pone en evidencias el PIN-OUT del microcontrolador PIC 18F4550, en conjunto con una agrupación general de las funciones que se asignaron y una breve descripción.

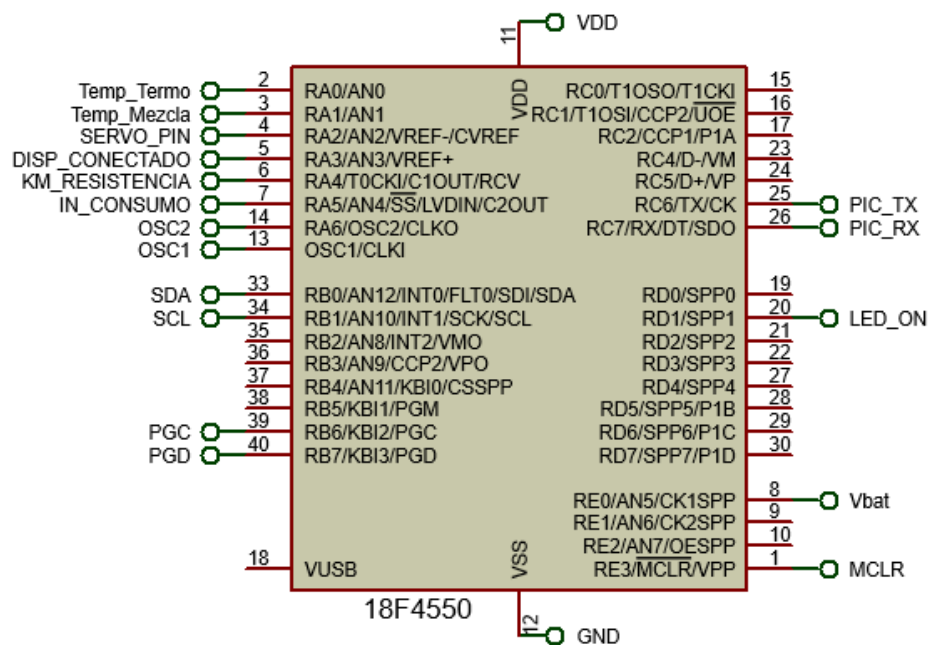


Fig. 28. PIN-OUT PIC 18F4550.

ALIMENTACION / PROGRAMACION	
11,32 – VDD: VDD	Alimentación Positiva 5 [V].
12,31 – VSS: GND	Referencia puesta a tierra.
1 – MCLR: MCLR	Reset del microcontrolador / ingreso modo programación.
39 – PGC: PGC	ICSP ¹ clock.
40 – PGD: PGD	ISCP data.
ENTRADAS	
2 – RA0: Temp_Termo	De sensor de temperatura de agua en colector solar.
3 – RA1: Temp_Mezcla	De sensor de temperatura de agua mezclada en salida de válvula.
5 – RA3: Disp_Conectado	De modulo bluetooth para detección de dispositivo emparejado.
7 – RA5: Consumo	De Flowsitch para detección de consumo de agua.
8 – RE0: Vbat	De señal analógica para lectura de tensión de batería
SALIDAS	
4 – RA2: Servo_Pin	A PWM de servo motor.
6 – RA4: KM_Resistencia	A comando de bobina de relé de resistencia de calentamiento.
20 – RD1: Led_On	A led de estado de Microcontrolador.
COMUNICACIÓN	
33 – RB0: SDA	I/O de protocolo I ² C para módulo RTC.
33 – RB1: SCL	Clock de protocolo I ² C para módulo RTC.
25 – RC6: Pic_TX	Transmisión de datos por protocolo serie a modulo conversor de estados lógicos para comunicación bluetooth.
26 – RC7: Pic_RX	Recepción de datos por protocolo serie de modulo conversor de estados lógicos para comunicación bluetooth.

Tab. 12. Numeración y descripción de pines asignados.

Para la programación del microcontrolador se implementó un puerto de programación serie en el circuito (ICSP – In Circuit Serial Programming) tal como se ilustra en la Fig. 29. La existencia de los jumpers JP1 y JP2 recae en la necesidad de aislar la herramienta de programación del resto del circuito, evitando sobrecargar su fuente de alimentación interna, y la presencia de componentes que afecten el funcionamiento del mismo. Cabe destacar que, para el uso del programador, ambos jumpers deberán estar en la posición 1-2 como se ilustra.

En dicha imagen también se puede notar la implementación de un pulsador, utilizado para reiniciar el microcontrolador, con sus componentes de aislación recomendados por el fabricante.

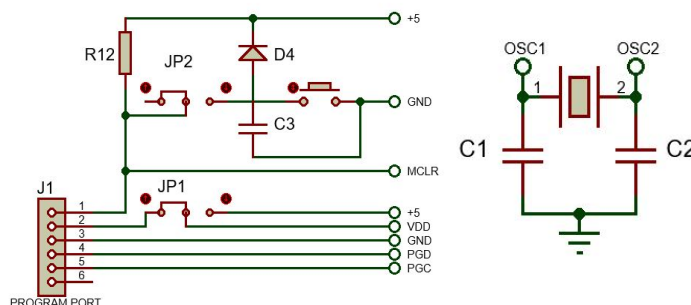


Fig. 29. Puerto ICSP, pulsador de RESET y Cristal de cuarzo externo.



4.3.3. Sensor de tensión de batería

A modo informativo, se decidió la implementación de un sensor de tensión de batería, aplicando un simple divisor resistivo con protección a diodo y utilizando una de las 12 entradas analógicas del micro controlador, la cual es muestreada por un conversor analógico / digital integrado de 10 bits, permitiendo obtener el dato digital de dicha variable el cual es mostrado en la aplicación.

4.4. Dispositivos de Salida.

El microcontrolador implementado en el proyecto posee 3 salidas activas, las cuales se encargan tanto de dar una señal luminosa de correcto funcionamiento del mismo, como de interferir en el proceso modificando las variables de este y lograr un preciso control de la temperatura del agua de consumo.

4.4.1. Estado del microcontrolador.

Dicha señal será activada cuando el controlador se encuentre energizado y corriendo correctamente el programa grabado en su memoria

4.4.2. Servomotor.

El dispositivo se encuentra solidario al vástago, el cual se encargará de moverlo para variar las cantidades de agua caliente y agua fría que se mezclaran en el recinto de la válvula. Para lograr dicha tarea se alimenta al motor de corriente eléctrica y se le proporciona una señal del tipo PWM² generada por el microcontrolador, la cual en base a su ancho de pulso comandara la posición del obturador

4.4.3. Resistencia eléctrica.

Para su comando se utiliza la salida denominada como KM_RESISTENCIA, la cual saturara al transistor proporcionando el camino eléctrico para energizar la bobina de un relé y así alimentar dicha resistencia. Se adiciona un led para proporcionar una señal luminosa del estado del relé. Para lograr dicha tarea se proporciona tanto de alimentación de continua para el comando, como de alimentación de alterna para energizar el calentador.

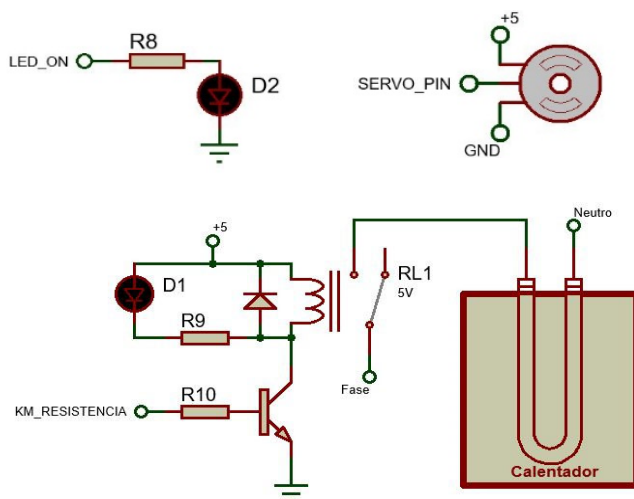


Fig. 32. Dispositivos de salida.

4.5. Dispositivos de Comunicación.

La central cuneta con dos dispositivos periféricos de los cuales obtiene información para su configuración, los cuales interactúan con ella con su protocolo correspondiente, siendo distintos entre ambos. Estos protocolos fueron detallados anteriormente.

4.5.1. Real Time Clock.

El dispositivo dedicado al seguimiento del tiempo real, ilustrado en la Fig. 33., se implementó para disminuir la carga de operaciones del microcontrolador se alimenta de tensión continua, y posee 2 pines dedicados al protocolo de comunicación, unidos a sus correspondientes resistencias pull-up para el correcto funcionamiento de este.

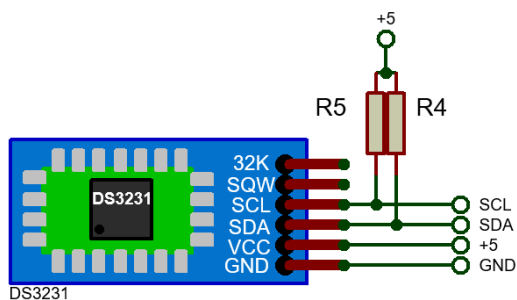


Fig. 33. Real Time Clock.

4.5.2. Módulo Bluetooth HC-05

Para la recepción de datos de configuración, y envío de datos para visualización, se implementa el módulo ilustrado en la Fig. 34. El cual se alimenta de tensión continua de 3.3 [V]. Debido a su tecnología TTL se utiliza un adaptador de niveles lógicos explicado previamente, interponiéndose entre los pines de comunicación del protocolo serie del microcontrolador y el módulo bluetooth.

A demás se emplea la salida denominada State, unido a una resistencia pull-down, la cual pasa a estado alto cuando un dispositivo se empareja al módulo, siendo interpretada por el microcontrolador.

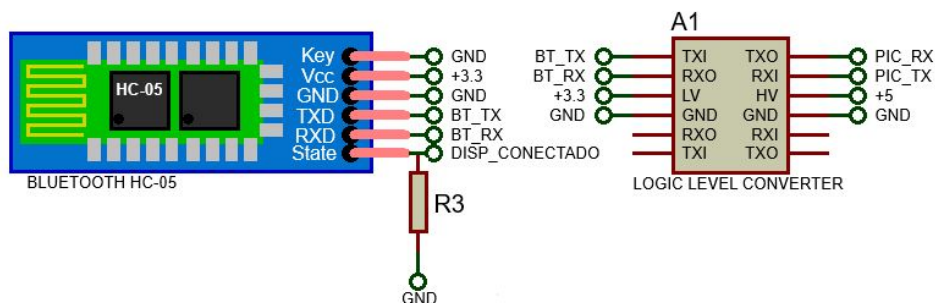


Fig. 34. Módulo de comunicación Bluetooth y adaptador de niveles lógicos.



5. Acerca del Programa del Microcontrolador

El código ejecutado en el PIC18F4550 utilizado en la central de control, fue escrito en su totalidad en lenguaje C++, usando el compilador PIC C Compiler, desarrollado por Stephen C. Johnson de Laboratorios Bell y como herramienta de depuración y simulación el software Proteus Design Suite en su versión 8 desarrollado por Labcenter Electronics LTD. Mientras que, para la configuración y manejo de los periféricos, se utilizaron librerías disponibles en los sitios webs de los fabricantes, modificándolas en base a la aplicación puntual. De manera similar ocurrió con los protocolos de comunicación requeridos por algunos de los periféricos, siendo los mencionados anteriormente en su apartado correspondiente, las mismas fueron las provistas por el software de programación con las correspondientes configuraciones necesarias para su aplicación.

En el presente proyecto, tal cual como se ha descrito apartados atrás, se decidió utilizar un cristal externo de 8 [MHz] como reloj para el microcontrolador, proporcionando una velocidad de operación 4 [MIPS] lo cual, en un sistema de mezcla de agua, donde existe un gran salto térmico entre ambos líquidos a mezclarse, nos permite obtener un gran margen de tiempo entre acción y efecto del control. Del mismo modo los protocolos de comunicación utilizados poseen velocidades inferiores a esta, siendo otra ventaja en la elección del oscilador.

En líneas generales, el programa puede dividirse en la rutina principal, una subrutina auxiliar y 2 interrupciones, descriptas a continuación.

5.1. Rutina Principal

En la Fig. 35 puede observarse el diagrama de flujo representativo de la rutina principal (*main*) utilizada para la central de procesos. En dicha rutina, como primera instancia se configuran los registros del microcontrolador necesarios para el funcionamiento de las interrupciones, conversor ADC y Unidad de Registro Temporal. Posteriormente se habilita el uso de las interrupciones aplicadas al proyecto y se obtiene los datos de configuración que fueron guardados en anteriores usos del sistema a modo de recuperación, con su consecuente conversión de tipo de dato.

Tras lo antes mencionado, se da comienzo a un bucle del cual el controlador no saldrá a menos de que sea reiniciado. Dentro del mismo bucle, preceden dos caminos eventuales, por SI o por NO, respondiendo al interrogante Dispositivo Conectado al módulo Bluetooth, de ser afirmativo se dará inicio a la subrutina de recepción, caso contrario, serán reiniciados los contadores utilizados en dicha subrutina y se deshabilitara la interrupción de recepción de datos series provenientes del módulo bluetooth, dando paso a la lectura y obtención de datos necesarios por parte de los dispositivos de medición.

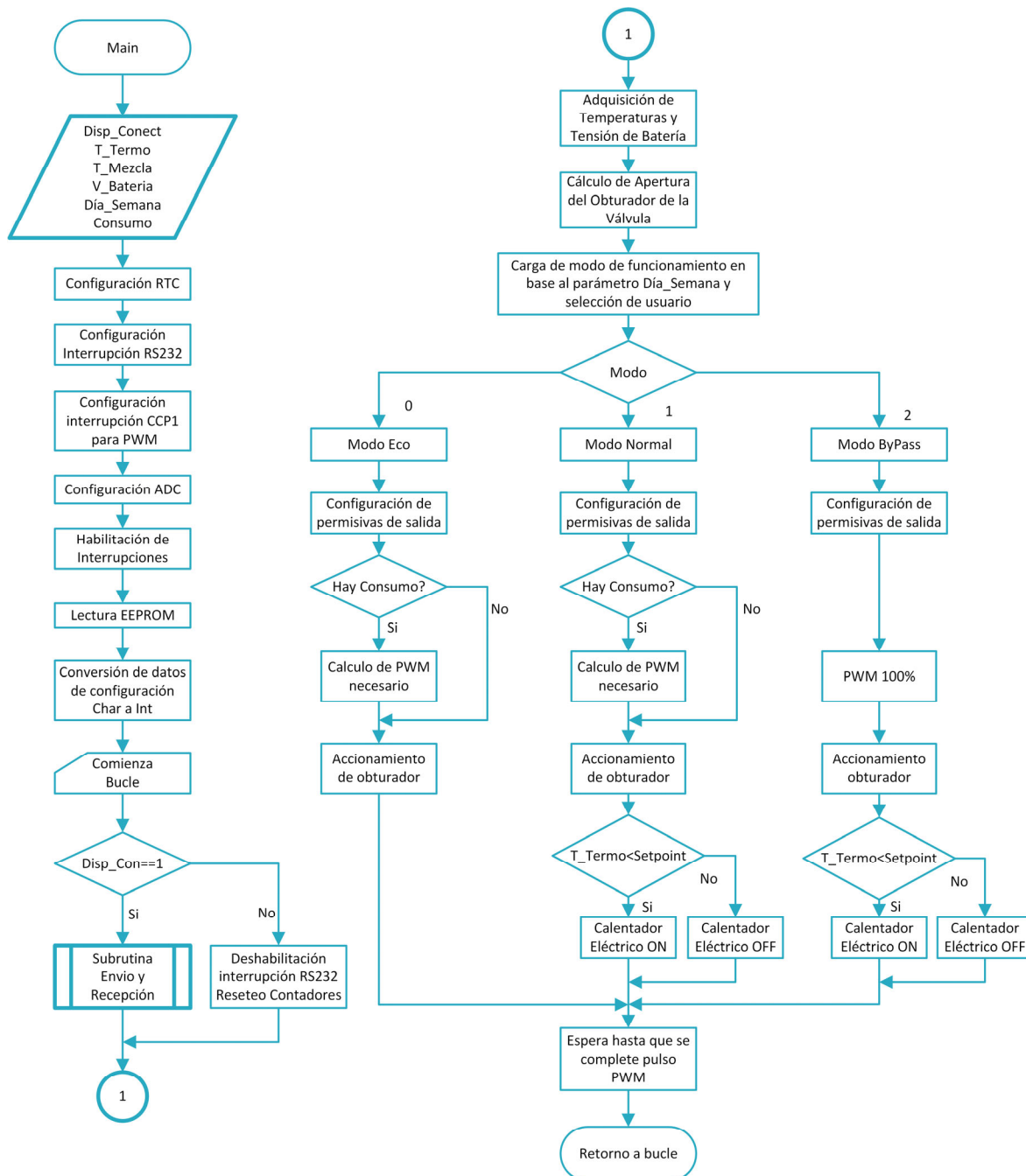


Fig. 35. Diagrama de Flujo de rutina Principal.

Una vez obtenidos los valores de temperatura presentes en el sistema, aportados por los dos sensores DS18B20, y calculado el porcentaje de apertura de la válvula en base PWM Duty Cycle (*Ciclo de Trabajo PWM*) generado, se leerá el registro presente en la unidad de registro temporal obteniendo el día actual de la semana. Con dicho dato y tras la comparativa de la configuración realizada por el usuario y guardada en la memoria EEPROM de esta unidad, se selecciona el modo de funcionamiento, siendo estos los casos definidos:



- **Modo Eco:** Se deshabilita la permisiva de encendido de calentador eléctrico y, de existir consumo en la red de agua domiciliaria, cotejando el SetPoint de temperatura de agua caliente deseada por el usuario y la actual, se calcula el ciclo de trabajo PWM necesario para lograrlo. De no existir consumo en la red, se mantendrá el ciclo de trabajo calculado previamente. El valor calculado de este ciclo, es cargado en una variable que será utilizada en la interrupción CCP1 para la generación de una futura señal PWM.
- **Modo Normal:** Se habilita la permisiva de encendido de calentador eléctrico y, de existir consumo en la red de agua domiciliaria, cotejando el SetPoint de temperatura de agua caliente deseada por el usuario y la actual, se calcula el ciclo de trabajo PWM necesario para lograrlo. De no existir consumo en la red, se mantendrá el ciclo de trabajo calculado previamente. El valor calculado de este ciclo, es cargado en una variable que será utilizada en la interrupción CCP1 para la generación de una futura señal PWM. En caso de que la temperatura presente de agua en el colector sea menor al SetPoint, por lo que no será posible cumplirlo, se encenderá el calentador eléctrico supliendo dicha falencia de temperatura.
- **Modo ByPass:** Se habilita la permisiva de encendido de calentador eléctrico y se establece un ciclo de trabajo del 100% de la señal PWM, haciendo que la vía de entrada de agua fría al recinto de mezcla de la válvula quede obstruida y solo se de paso al agua proveniente del colector solar. El valor fijo de ciclo de trabajo, es cargado en una variable que será utilizada en la interrupción CCP1 para la generación de la señal PWM. En caso de que la temperatura presente de agua en el colector sea menor al SetPoint, siendo de esta manera imposible de cumplirse, se encenderá el calentador eléctrico aportando la energía térmica faltante dentro del CST.

Cabe destacar que, si el usuario selecciono el modo Calendario en la aplicación, dentro de la franja horaria, ya sea la primera o segunda, el modo de funcionamiento corresponderá Normal, y por fuera de ellas funcionará en modo Eco, logrando un uso eficiente y responsable de la energía.

Una vez concluida la etapa de procesamiento de directivas, cálculo de factores y actuación de la válvula, se espera a que la interrupción CCP1 informe que se concluyó el pulso actual de PWM y se retorna al comienzo del bucle. Dicha espera es de suma importancia, ya que, si el ciclo de trabajo previamente calculado no se completa de manera correcta, conllevaría a una posición errónea del obturador y por ende una temperatura de mezcla distinta a la configurada en el SetPoint, y teniendo en cuenta que el periodo de dicha señal es de 2 [ms], el tiempo de espera en cuestión es insignificancia en comparación a la inercia térmica del sistema.

5.2. Subrutinas

Las presentes rutinas son implementadas para disminuir el tamaño de la rutina principal, como así su tiempo de operación, debido a que estas solo serán llamadas, y consecuentemente procesadas, en base al estado de entradas o necesidad del momento, siendo prescindibles gran parte del tiempo en el cual la central se encuentre en funcionamiento.



5.2.1. Subrutina de Recepción y Envío de Datos a Aplicación

En la Fig. 36 se encuentra de manera resumida la lógica aplicada para la programación de la subrutina en cuestión. Dicha subrutina, solo será ejecutada cuando se encuentre un dispositivo emparejado al módulo bluetooth HC-05 y se encargara del envío de datos de estado a la aplicación como también la interpretación y decodificación de los datos recibidos para la configuración de la central de control por parte del usuario.

Al momento de iniciarse la subrutina, se inicia un temporizador de 5 segundos el cual posee 2 bits atribuidos:

- TT_Cont5s: Timer Timing por sus siglas en inglés, representa el estado de cuenta del temporizador. Estará en estado alto cuando el contador se encuentre contando.
- DN_Cont5s: Done por sus siglas en inglés, representa el estado de finalización del temporizador. Estará en estado alto cuando el contador haya completado la cuenta.

Como primera instancia, si el temporizador no se encuentra contando se da inicio a este, caso contrario se interroga el bit de finalización, donde de haberse completado la cuenta y no encontrarse a la espera de una palabra de configuración, la central enviará mediante el módulo Bluetooth los siguientes datos:

- Fecha y Hora almacenados en la unidad de registro temporal.
- Modo de operación.
- SetPoint de temperatura de mezcla
- Temperatura de líquido presente en el colector solar
- Temperatura de mezcla del sistema
- Existencia, o no, de consumo de agua
- Porcentaje de apertura de válvula
- Estado de calentador eléctrico
- Estado de ByPass de válvula
- Tensión de batería

Una vez enviado los datos a la aplicación, se reinicia el contador.

En caso de que el buffer de la comunicación serie se complete, siendo este acotado a 8 bits, se inicia una fase de comprobación de datos para obtener certeza del cien por ciento de que, lo que se recibió es efectivamente lo que fue enviado por el usuario, sorteando cualquier tipo de problema de comunicación y posible dato erróneo. Cabe destacar que las funciones descriptas adelante se excluyeron del diagrama en flujo para facilitar su comprensión.

Al momento de comenzar con dicha fase se hace uso de palabras específicas ya sea para configurar la fecha y hora del RTC "CONFIHORA", o los parámetros de funcionamiento de la central "CONFIDISP". En caso de que el dato alojado en el buffer no concuerde con ninguna de estas dos palabras, se envía a la central un mensaje de error, caso contrario se inicia un contador de 6 segundos y pone el bit Sol_Config a 1, evitando él envío de datos de estados a la aplicación y posibles errores en ella.

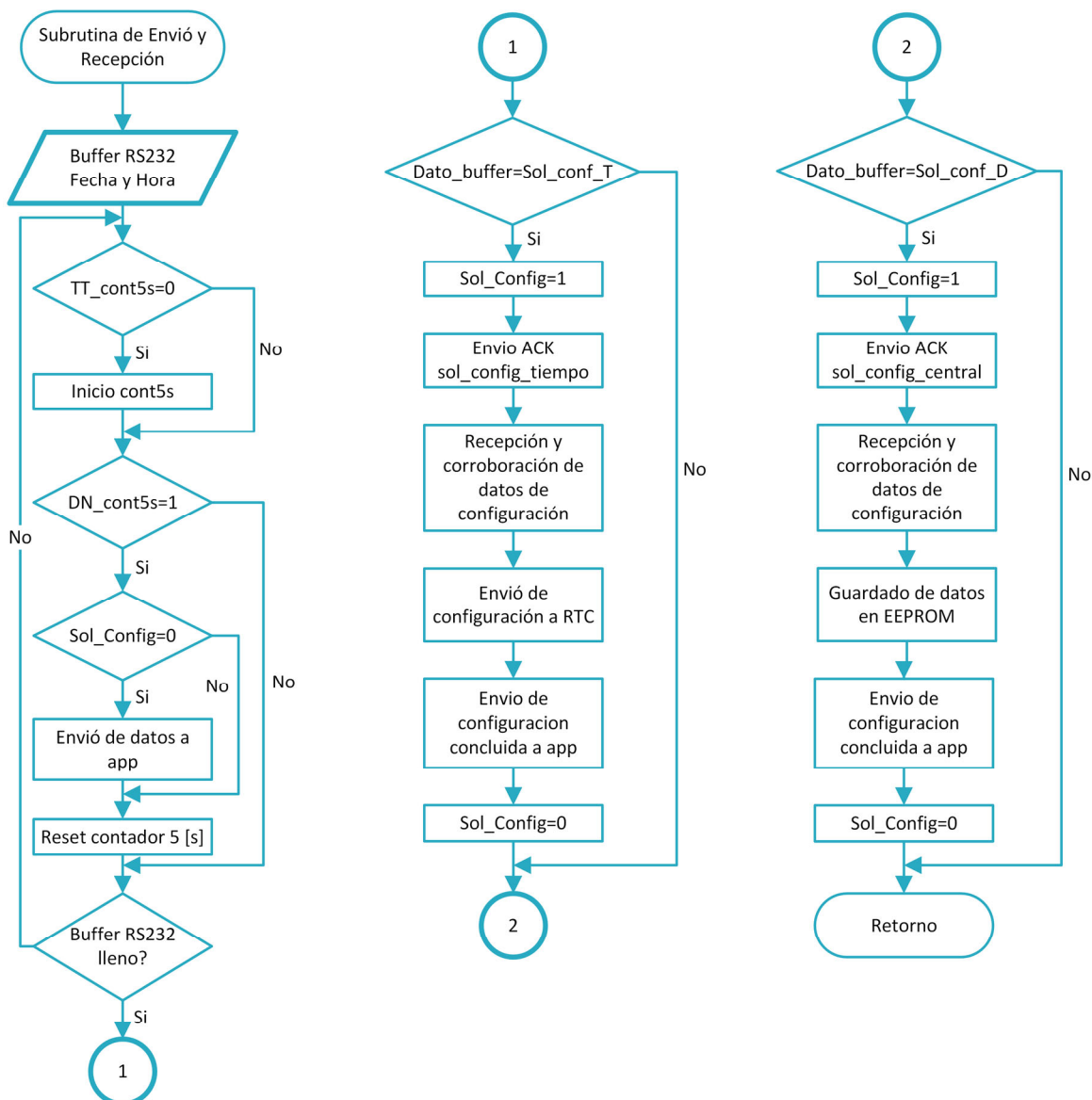


Fig. 36. Diagrama de Flujo de subrutina de envío y recepción de datos a aplicación.

5.2.1.1. Caso Configuración de Fecha y Hora.

En primera instancia se da aviso a la aplicación de que fue aceptada la solicitud de configuración, requiriendo la palabra de configuración de fecha, la cual debe poseer el formato exhibido en la Tab. 13. De cumplirse con dicho formato de seguridad, la central reenvía la palabra a la aplicación esperando por una respuesta de corroboración, donde de obtenerla se guarda la nueva fecha, caso contrario se limpia el registro y se envía un mensaje de error a la aplicación. Tras configurarse la fecha se realiza la misma operación para el tiempo, con el formato propuesto por la Tab. 14.



Tras recibir correctamente la fecha y hora presentes en el Smartphone, estas son enviadas a la memoria de la unidad de registro temporal, se da aviso a la aplicación de que concluyo la configuración, setea la bandera Sol_Config a 0 y reinicia contador de 6 segundos.

De demorarse la operación antes descripta más de 6 segundos, o no concordar los formatos, se enviará un mensaje de error a la aplicación y seteará el bit Sol_Config a 0.

Bit	Valor	
0	"Z"	Bit de seguridad
1	0 a 3	Decena de día
2	0 a 9	Unidad de día
3	0 a 1	Decena de mes
4	0 a 9	Unidad de mes
5	0 a 9	Decena de año
6	0 a 9	Unidad de año
7	1 a 8	Día de semana, siendo 1 domingo y 8 sábado
8	"F"	Bit de seguridad

Tab. 13. Formato palabra de configuración de fecha.

Bit	Valor	
0	"Z"	Bit de seguridad
1	0 a 2	Decena de Hora
2	0 a 9	Unidad de Hora
3	"H"	Bit de seguridad
4	0 a 6	Decena de minuto
5	0 a 9	Unidad de minuto
6	0 a 6	Decena de segundo
7	0 a 9	Unidad de segundo
8	"H"	Bit de seguridad

Tab. 14. Formato palabra de configuración de hora.

5.2.1.2. Caso Configuración del Dispositivo.

Al igual que en la configuración de fecha y hora, se da aviso a la aplicación y se solicita la palabra de configuración con el formato expuesto en la Tab. 15. Las consecuentes corroboraciones y medidas de seguridad se repiten para el caso en cuestión. De seleccionarse los modos Normal, Eco o Bypass, una vez completada la comunicación con la aplicación, se cargará dicho modo para los 7 días de la semana.

Dado el caso en el que se seleccione el modo denominado Calendario en la aplicación, representado por Bit 6 = 3, la central solicitará el envío de 3 palabras adicionales, representado las franjas horarias de funcionamiento en modo Normal de la central, con el formato indicado en la Tab. 16, comenzando por la correspondiente al día domingo, luego la correspondiente a los días lunes a viernes y por último al día sábado. Cabe destacar que, tras la recepción de cada palabra, serán repetidas las medidas de seguridad antes dispuestas, siendo estas: corroboración de formato



– reenvió – confirmación por parte de aplicación – solicitud de siguiente palabra. De igual manera, de generarse algún tipo de error, se dará aviso a la aplicación una vez concluida la recepción.

Con la recepción de datos finalizada, sin importar el modo elegido por el usuario, se almacenará la configuración deseada en la EEPROM del microcontrolador, se actualizarán los registros operativos, avisará a la aplicación que finalizó la configuración, reseteará contador de 6 segundos y por último se seteará la bandera Sol_Conf a 0.

Mientras que como en el caso anterior, de demorarse más de 6 segundos en concluir con la configuración de dispositivo, está será abortada dando aviso a la aplicación y se seteará la bandera Sol_Conf a 1.

Bit	Valor	
0	"Z"	Bit de seguridad
1	0 a 3	Decena de temperatura de SetPoint
2	0 a 9	Unidad de temperatura de SetPoint
3	0 a 1	Decimal de temperatura de SetPoint
4	"C"	Bit de seguridad
5	"E"	Bit de seguridad
6	0 a 3	Modo de funcionamiento
7	"D"	Bit de seguridad
8	"D"	Bit de seguridad

Tab. 15. Formato palabra de configuración de dispositivo.

Bit	Valor	
0	0 a 2	Modo de funcionamiento
1	0 a "N"	Hora de inicio franja 1
2	0 a "B"	Minuto de inicio franja 1
3	0 a "N"	Hora de fin franja 1
4	0 a "B"	Minuto de fin franja 1
5	0 a "N"	Hora de inicio franja 2
6	0 a "B"	Minuto de inicio franja 2
7	0 a "N"	Hora de fin franja 2
8	0 a "B"	Minuto de fin franja 2

Tab. 16. Formato palabras de configuración de franjas horarias.

5.3. Rutinas de Interrupciones

Como se describió en un principio, contamos con 2 interrupciones dentro código que corre el microcontrolador. Si se encuentran habilitadas, interrumpirán la secuencia del programa para ser ejecutadas cuando se active su disparador (*Flag Bit*). Se dispone de dos niveles de prioridad para la ejecución, siendo Alto y Bajo, donde todas las interrupciones pueden ser programadas en el nivel que se desee.

5.3.1. Interrupción USART

La principal función de la interrupción USART, es la de recepción de datos provenientes del módulo bluetooth por protocolo serie RS232. Para lograrlo, cada vez que se detecte el ingreso de un carácter por el pin RC7 se activara la presente interrupción.

En la porción izquierda de la Fig. 37, se logra apreciar con exactitud el diagrama de flujo correspondiente a la interrupción en cuestión. Observamos que, al momento de ejecutarse, la acción en primera instancia es desactivar las demás interrupciones, evitando de esta manera posibles conflictos de flujo de su código, acto seguido se incrementará en 1 la posición del buffer de comunicación, "X", posición en la cual será almacenado el carácter entrante dentro del mismo. Si el número de posición alcanza un valor igual a 9, nos da la pauta que el buffer se llenó, implicando que se completó la recepción de una palabra proveniente de la aplicación en el Smartphone. Concluido este proceso, se reinicia la variable otorgando un aviso de buffer lleno mediante la bandera Buffer_Lleno, la cual será detectada en la subrutina de recepción. En caso contrario, o completado lo anterior, se activan las interrupciones y retorna al flujo normal del programa.

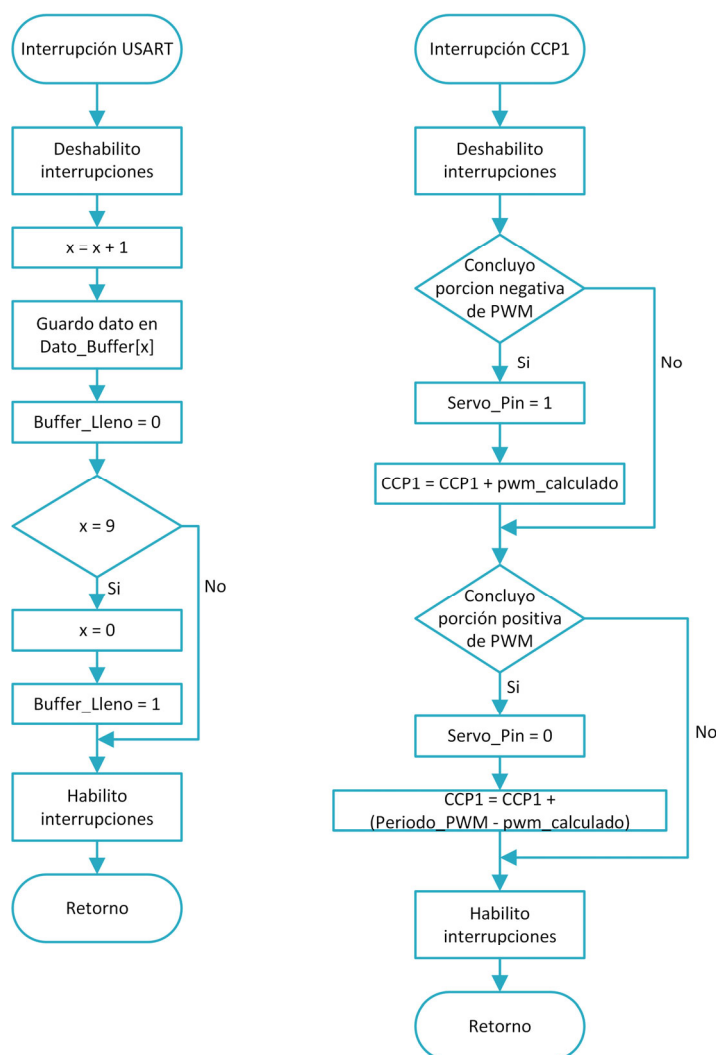


Fig. 37. Diagrama de flujo de las rutinas de interrupción



5.3.2. Interrupción CCP1

El microprocesador utilizado posee 2 módulos CCP (*Capture/Compare/PWM*) de los cuales se aplica el primero de ellos en modo comparador para poder generar el pulso PWM de baja frecuencia necesario para comandar el servo motor, responsable del accionar del vástago de la válvula mezcladora.

En modo comparador, se utiliza el Timer1 del procesador como reloj de referencia, el cual correrá a la misma frecuencia y de manera síncrona con el reloj externo implementado en el proyecto. Cada vez que el reloj pase de un estado alto a uno bajo, generando un flanco descendente, se sumará en uno el valor del Timer1, y cuando este alcance el valor precargado en la variable CCP1 será ejecutada la presente interrupción.

En la porción derecha de la Fig. 37, puede observarse de manera resumida el diagrama de flujo correspondiente a la interrupción en cuestión. Como ocurre con la interrupción descrita anteriormente, al ser ejecutada, su primera acción es desactivar las demás interrupciones con el objetivo de evitar posibles conflictos con su ejecución, acto seguido se analizará el estado de finalización de la señal PWM. Al completarse la porción negativa de esta, se activará el pin que comanda al servo motor, comenzando la porción positiva de la señal y se le adicionará a la variable CCP1 el valor calculado previamente en la rutina principal para lograr el SetPoint de temperatura de mezcla.

Una vez que el temporizador 1 alcance el nuevo valor de CCP1 y se ejecute la interrupción, el pulso positivo habrá llegado a su plenitud, ejecutándose la segunda parte de esta, desactivando el pin que comanda al servomotor, apagándolo. A la variable CCP1 se le adiciona el valor necesario para que se complete el periodo de la señal, cual es el resultado de una diferencia entre el periodo total de la señal PWM y el periodo de la porción positiva calculada previamente.

6. Acerca de la Aplicación Android OS.

La aplicación que portarán los usuarios en sus Smartphones para poder comunicarse y programar la central, fue desarrollada gracias al software MIT App Inventor 2, creado por Google Labs. Este programa es didáctico y permite al usuario, de una manera visual y con un conjunto de herramientas básicas, ir enlazando bloques de código para crear la aplicación. Si bien el desarrollo de aplicaciones está limitado a los bloques antes mencionados, nos resultó suficiente y efectivo para cubrir nuestras necesidades a la hora de desarrollar nuestra App.

La misma aplicación es facilitada por nosotros y puede incorporarse en los dispositivos de los usuarios mediante el paquete de instalación Solartech.apk, cabe destacar que la extensión .apk es la elegida y utilizada por Android OS para la compresión de los archivos de instalación.

Una vez iniciada la aplicación, se podrá observar el logo del proyecto, y tras 3 segundos la pantalla principal, como lo muestra la figura 38. Debido a que el usuario aún no se ha conectado con la central, tal lo indica la leyenda superior, se muestran las siglas "S/D" en los distintos parámetros operativos y se bloquea la función de los apartados *PROGRAMADOR* y *CONFIGURAR*.



Fig. 38. Pantallas de inicio

Para proceder a la comunicación entre la central y la aplicación, se deberá presionar el botón *CONECTAR*, obteniendo la lista de dispositivos bluetooth cercanos y seleccionar la central de control. Es menester aclarar que una vez presionado sobre el botón *CONECTAR* es necesario tener habilitados los servicios Bluetooth del Smartphone, caso contrario se hará visible mediante mensaje emergente la solicitud de dicha acción.

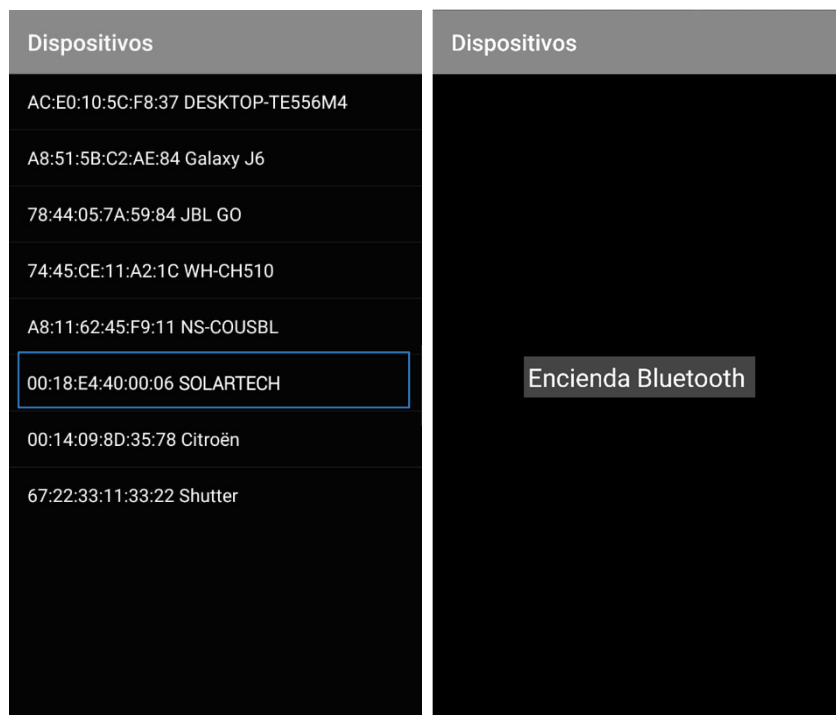


Fig. 39. Listado de dispositivos disponibles y aviso Bluetooth



Tras una conexión exitosa, se dará aviso al usuario mediante notificación, desaparecerá el botón *CONECTAR*, y este podrá observar los parámetros operativos existentes en la central de control, de una manera gráfica, ordenada y de fácil interpretación. Cabe destacar que, de existir un error de comunicación entre la aplicación y el dispositivo, ya sea por datos corruptos o lejanía entre emisor y receptor, el usuario será notificado y cambiara la leyenda superior de la pantalla principal, demostrado en la Fig. 40.

CENTRAL CONECTADA		CENTRAL CONECTADA		CENTRAL DESCONECTADA	
Modo	S/D	Modo	NORMAL	Modo	NORMAL
Set Point	S/D	Set Point	45.0 °C	Set Point	17.0 °C
Temp. Termo	S/D	Temp. Termo	15.62 °C	Temp. Termo	16.62 °C
Temp. Mezcla	S/D	Temp. Mezcla	16.06 °C	Temp. Mezcla	16.06 °C
Consumo	S/D	Consumo	SI	Consumo	SI
Apertura Válvula	S/D	Apertura Válvula	13.5%	Apertura Válvula	100.0%
Resistencia	S/D	Resistencia	ON	Resistencia	ON
By Pass	Dispositivo Emparejado	By Pass	OFF	By Pass	Dispositivo Desconectado
Tensión Batería	S/D	Tensión Batería	5.14 V	Tensión Batería	5.20 V
PROGRAMADOR		PROGRAMADOR		PROGRAMADOR	
CONFIGURAR		CONFIGURAR		CONFIGURAR	
				CONECTAR	

Fig. 40. Pantalla de información principal y mensaje de desconexión.

En cuanto al apartado *PROGRAMADOR* respecta, el mismo fue desarrollado para realizar un análisis más detallado de las variables del sistema, palabras de configuración y banderas emitidas por la central, sin la necesidad de conectarla a la PC mediante un depurador, como así también introducir las palabras de configuración manualmente para saneamiento de eventuales errores. Para ingresar a este apartado será necesario introducir una contraseña previamente cargada en el desarrollo de la aplicación evitando de esta menará el ingreso de usuarios inexpertos sin la asesoría del programador.

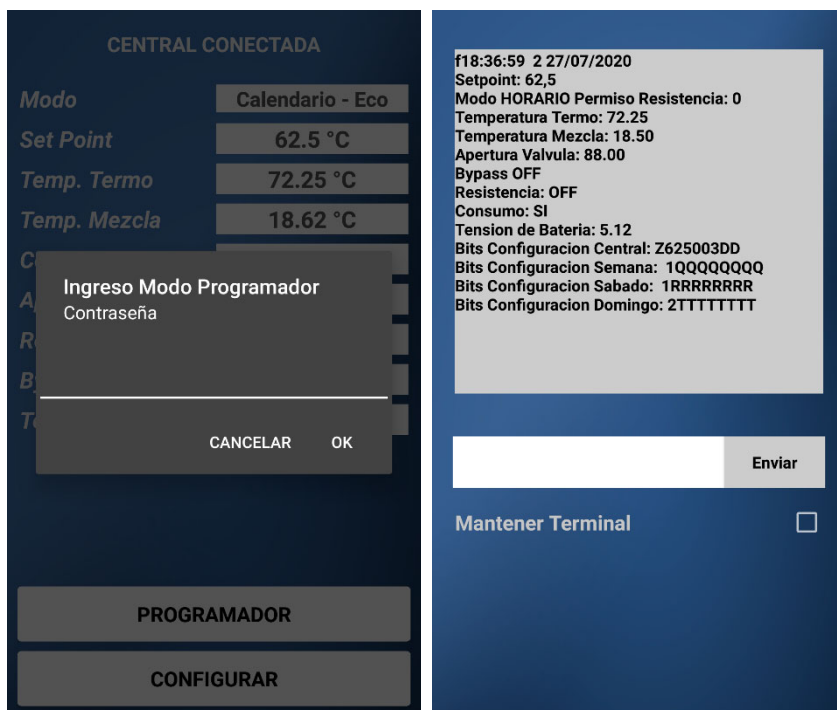


Fig. 41. Apartado *PROGRAMADOR*.

El apartado de configuración de la central puede observarse en la Fig. 42, donde se le permite al usuario programar los parámetros operativos según necesidad.

En la parte superior se encuentra expuesta la fecha y hora cargada en la central, la cual de estar desactualizada podrá configurarse automáticamente, a la existente en el Smartphone, con el uso del botón con leyenda *Configurar Fecha y Hora*. Una vez concluida dicha acción, o de abortarse esta, se obtendrá un aviso acorde al resultado, como lo indica la Fig. 43.

El parámetro operativo de **Set Point** corresponde a la temperatura deseada de agua mezclada, es decir la salida de la válvula. Este valor es global para todos los modos de uso presente en el sistema. En el apartado **Modos**, se logra apreciar que se divide la semana en tres partes, Lunes a Viernes, Sábados y Domingos. Estas secciones presentan la misma variedad de modos de funcionamiento, contemplando de esta manera un gran abanico de posibilidades de uso, para los distintos tipos de usuarios. Los modos de funcionamiento han sido explicados a grandes rasgos en apartados anteriores, quedando el llamado Modo Calendario fuera de dicha lista.

El modo calendario está pensado para aquellos usuarios que poseen una rutina establecida y quieren hacer un uso más responsable de la energía. Por ello integramos dicha función, dotándolo de dos franjas horarias, completamente adaptables a dicha rutina. Dentro de estas franjas horarias la central se comporta como en Modo Normal, activando la permisiva de resistencia eléctrica, elevando la temperatura del CST siempre y cuando sea necesario, mientras que fuera de dichas franjas funcionará en modo Eco, prescindiendo del apoyo de la energía eléctrica. La configuración de franjas horarias solo se activará de seleccionarse el modo Calendario y debe respetar las siguientes reglas:

- Franja horaria 1 debe ser anterior a Franja horaria 2
- Hora de inicio ser anterior a la hora de fin para cada franja
- Los minutos deberán seleccionarse en intervalos de 5.



De no cumplirse con alguna de estas permisivas, se le informara al usuario mediante una notificación, como lo muestra la Fig. 44.

Una vez completada la selección de parámetros operativos, al presionar el botón *Configurar Parámetros*, dichas variables serán enviadas al controlador y de completarse el proceso de escritura en dicha central, será informado al usuario mediante mensaje emergente. Existe la posibilidad que por diversos motivos no se pueda concluir la operación, obteniéndose un mensaje de error en la pantalla, mostrado en la Fig. 45.

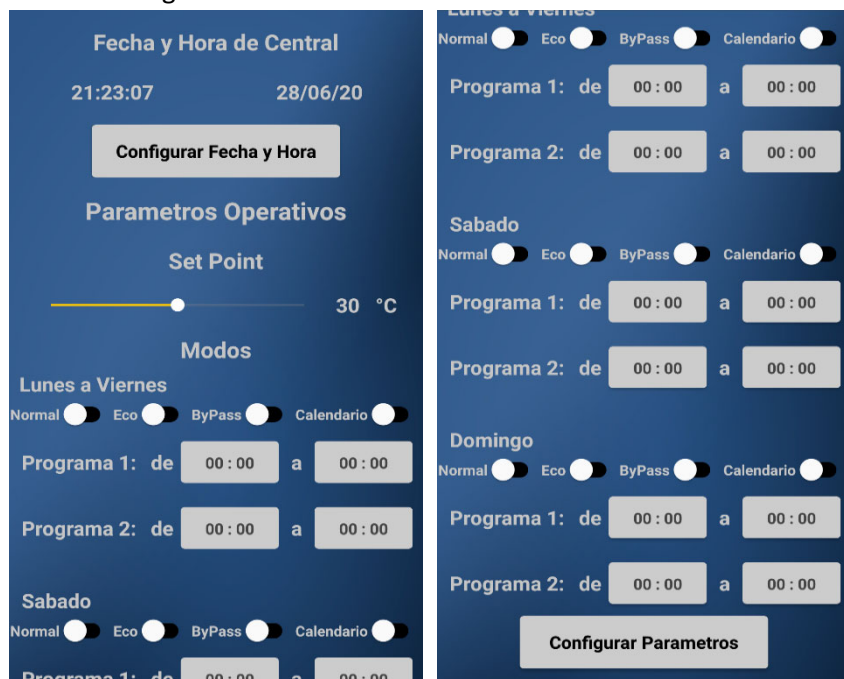


Fig. 42. Apartado de CONFIGURACIÓN



Fig. 43. Configuración de Fecha y Hora



Fig. 44. Configuración de modo Calendario y aviso de error

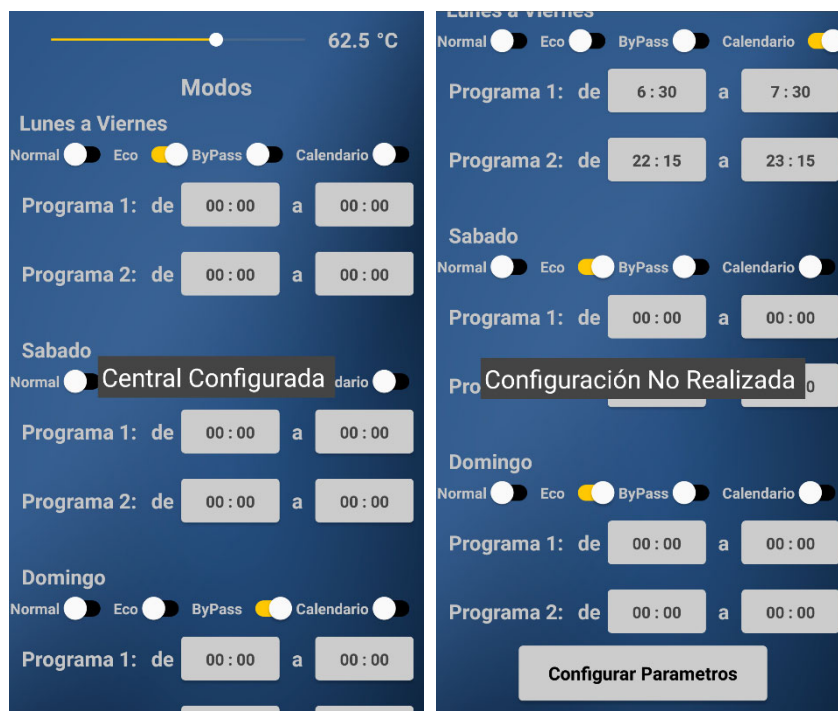


Fig. 45. Fin de configuración y posibles mensajes

7. La Válvula Mezcladora.

La válvula utilizada en el proyecto es un prototipo de desarrollo y fabricación propia. Su diseño fue realizado en SolidWorks, donde se tuvieron en cuenta los problemas hidrodinámicos de las válvulas comerciales para ser solventados en dicho modelo. Al cabo de tener el diseño y ensamblaje de la misma en el software, el paso siguiente fue la fabricación de la misma, la cual se llevó a cabo gracias a la tecnología de la Impresión 3D FDM Fused Deposition Modeling (Modelado por disposición fundida).

En el diseño de la misma podemos diferenciar 5 partes fundamentales, las cuales serán enunciadas y descritas a continuación.

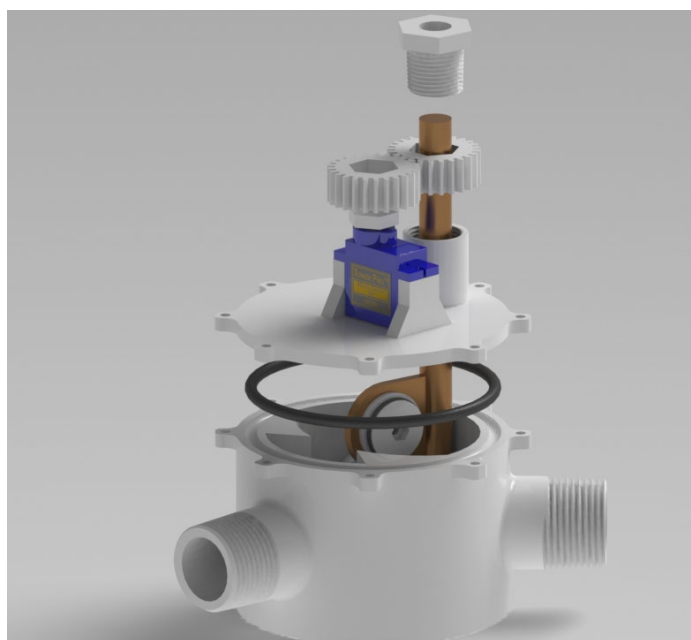


Fig. 46. Ensamblaje de la válvula.

7.1. Cuerpo.

Esta pieza es la parte principal del conjunto ya que es el lugar donde se produce los ingresos de agua a diferentes temperaturas, y el egreso del agua con la temperatura unificada, esto nos da la pauta que aloja el obturador en su interior, encargado de regular las cantidades ingresantes.

Como se puede observar en la figura, se incorporaron dos aletas de choque, cuya finalidad es la de generar turbulencia en el agua ingresante facilitando la mezcla de los líquidos que poseen diferentes densidades a causa de sus diferentes temperaturas.

Los diámetros de ingreso y egreso están normalizados en el Sistema imperial, siendo estos de $\frac{3}{4}$ " cuya equivalencia en el sistema métrico es de $19,05[mm]$.



7.2. Obturador.

También puede ser llamado vástago, es la pieza encargada de generar obstrucción al paso de los líquidos ingresantes. Está construido en bronce para evitar la corrosión del agua, así como el debilitamiento causado por las altas temperaturas. Para garantizar un correcto cierre de paso de agua, se incorpora dos pastillas acanaladas para un o'ring y con forma de domo para evitar una mayor resistencia por parte del agua.

El obturador gira sobre su eje describiendo un ángulo de 90°. Su movimiento es adquirido gracias a un Servo Motor, el cual, como mencionamos anteriormente gracias a un control PID, corrige la posición del obturador.

7.3. Tapa.

Como su nombre lo indica, cumple la función de cerramiento de manera de evitar las filtraciones o pérdidas de fluido. A su vez también es la encargada de proporcionar un anclaje para el Servo Motor. Se utiliza un cierre a o'ring para lograr la hermeticidad del conjunto.

7.4. Prensa Estopa.

Es una parte que surge como solución a las pérdidas de fluido que se originan entre la tapa y el vástago. En la figura podemos apreciar gráficamente como es su funcionamiento, donde al presionar un o'ring interno permite el movimiento del vástago, pero no así el egreso de líquido.

7.5. Engranajes.

Las variaciones angulares, o movimientos de giro que realiza el servomotor, no son directamente sobre el vástago, sino que se implementó un sistema de transmisión de dos engranajes con relación 1:1, es decir que los engranajes son idénticos en características y dimensiones. De esta manera el porcentaje de variación en el Servo Motor, es el mismo que se producirá en el vástago, simplificando los cálculos en el microprocesador.

8. Montaje del Prototipo.

Basándose en los diagramas eléctricos previos, se construyeron dos placas electrónicas, Fig. 47, donde en una se aloja tanto la alimentación, como el Sistema de control, comprendido por el microcontrolador y sus auxiliares de medición, y en otra el comando del calentador eléctrico.

La decisión de separar el control de la potencia, se tomó en base al aislamiento de ruido eléctrico, como así la seguridad en la manipulación del sistema en caso de necesitar manipularlo alimentado para posibles revisiones o reparaciones.

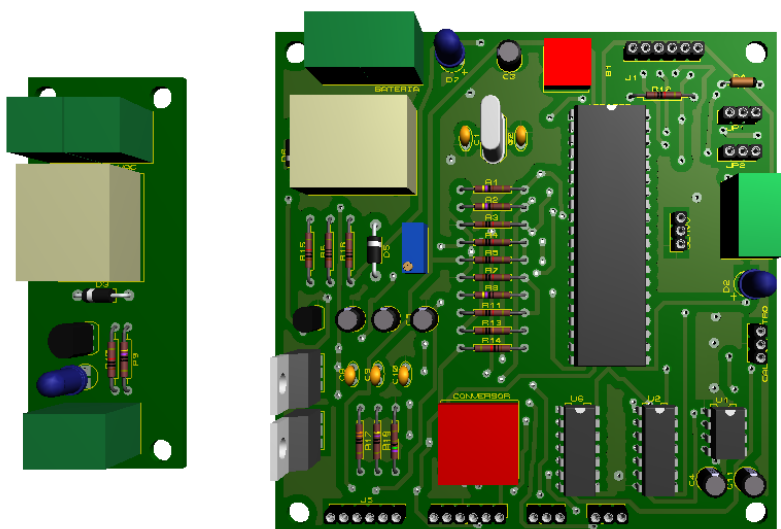


Fig. 47. Simulación 3D de circuitos impresos

Ambos PCB fueron montados dentro de un gabinete estanco de grado de protección IP65, permitiendo la instalación del sistema a la intemperie facilitando de esta manera la aplicación por parte del usuario, demostrado en la Fig. 48.

Dentro del mismo se incluyó una bornera de conexión para las señales provenientes de campo, en conjunto con portafusibles para las líneas de 220 V, alimentación de batería y alimentación de panel solar, Fig. 49, logrando una fácil desenergización del sistema. Para el ingreso de dichas señales al gabinete estanco se utilizaron prensa cables sellados, manteniendo el grado de hermeticidad propuesto.



Fig. 48. PCB de control y potencia en gabinete con bornera para campo y portafusibles

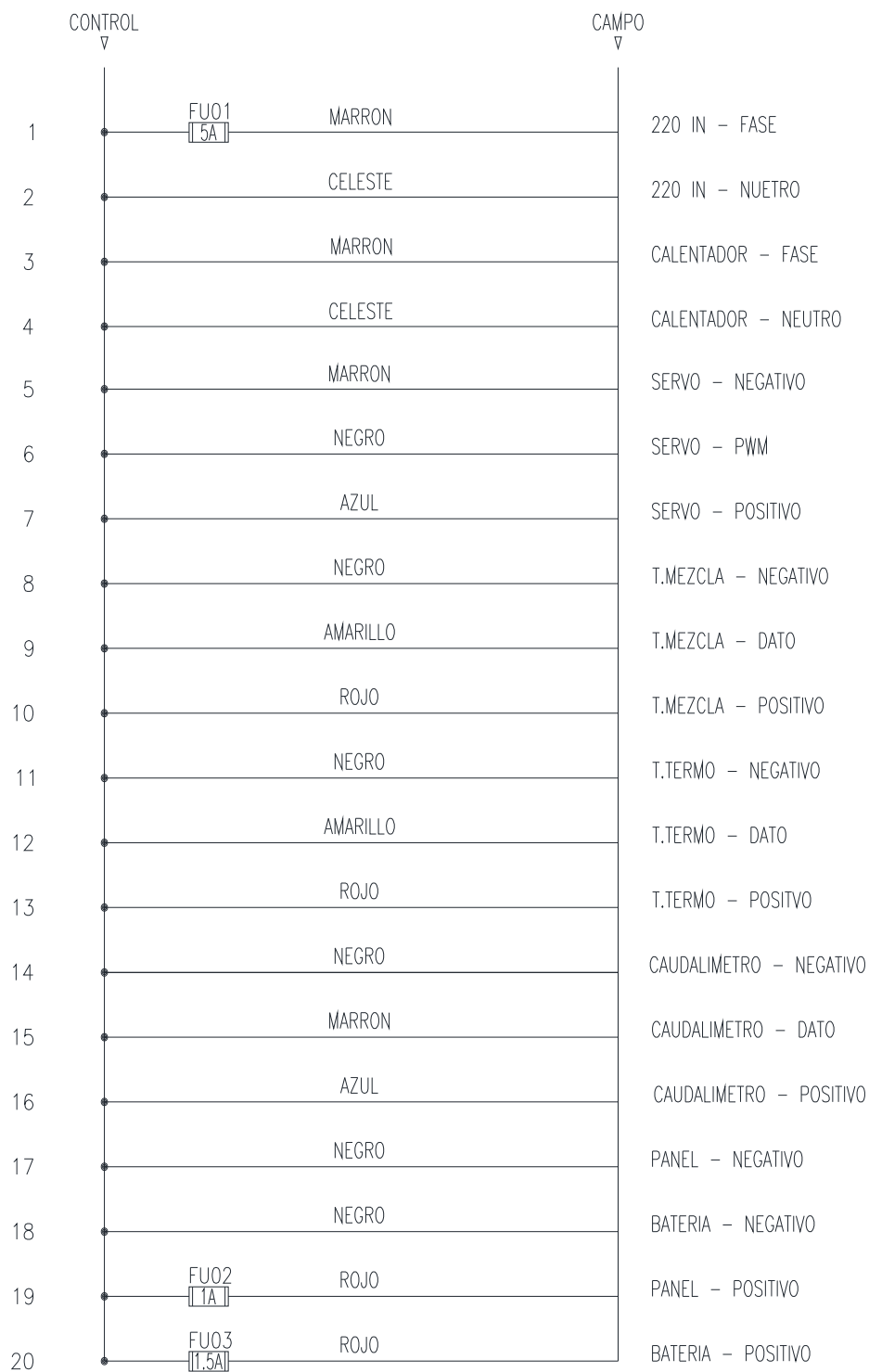


Fig. 49. Diagrama de conexiones señales de campo

En cuanto los sensores de temperatura y caudal respectan, los mismos fueron instalados aguas arriba y abajo de la válvula mezcladora, con la ayuda de accesorios de conexión para cañería sanitaria. En la Fig. 50 se pueden observar, de izquierda a derecha y arriba abajo, la entrada de agua caliente proveniente del colector solar, la entrada de agua fría provista por el tanque de agua domiciliario y la salida de agua mezclada.



Fig. 50. Montaje de válvula y sensores

Con las principales partes del sistema ensambladas, el montaje final se logra observar en la Fig. 51, donde para realizar las pruebas de funcionamiento solo fue necesario proveer de agua caliente / fría a la válvula y una vía de escape para la mezcla de las mismas.

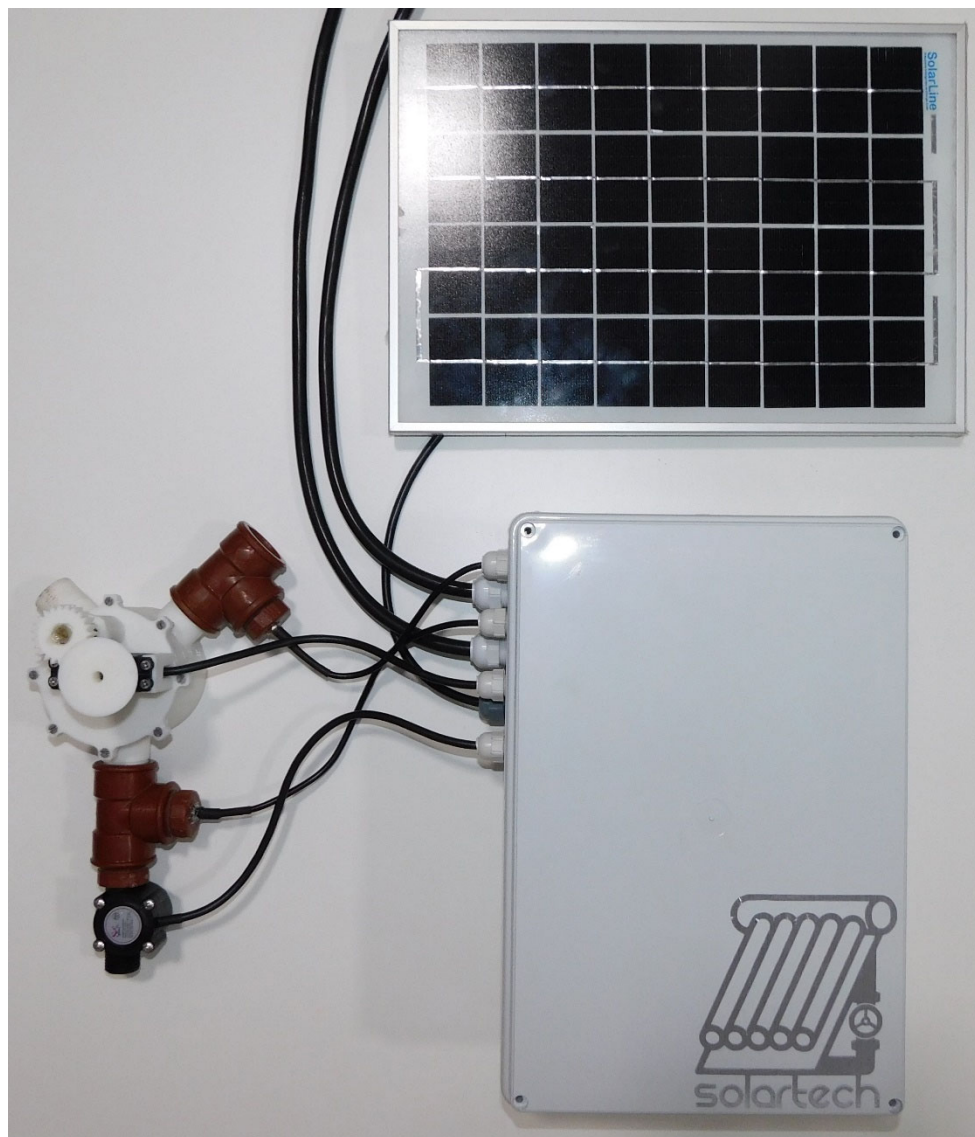


Fig. 51. Montaje final de prototipo



9. Conclusión.

Gracias las pruebas realizadas al prototipo, las cuales se realizaron simulando las condiciones normales de uso. Podemos afirmar que su respuesta fue gratificante. Entregando un control completo de la temperatura como era esperado, ayudando a prevenir los riesgos previstos que conlleva la utilización de la energía solar térmica.

En instancias de diseño mecánico, quedo comprobado que no hay una reducción de caudal, como en las válvulas termostáticas comerciales. Simultáneamente también, mostró un correcto comportamiento a los esfuerzos hidrodinámicos, llámese presiones de trabajo, propiciados por la altura del depósito de la vivienda, las cuales como aclaramos en apartados anteriores ronda entre $300 [gr/cm^2]$ y $400 [gr/cm^2]$.

Hablando del apartado electrónico, el microcontrolador elegido aporta solidez al proyecto, gracias las diversas posibilidades de comunicación que posee con los módulos, además de su velocidad y alta efectividad de procesamiento. La aplicación para Smartphone brinda una ventaja en comodidad y facilidad de uso para el usuario, con el agregado de que en los tiempos que corren, se vive un interés muy alto por parte de la población en general de poder controlar la cotidianidad a través de un Smartphone.

En términos generales, el diseño, ejecución y puesta en marcha de este proyecto, siendo este un producto ausente en el mercado, nos propició gran reto, en el que tuvimos que dar rienda libre y apostar a nuestro ingenio complementado exitosamente con los conocimientos adquiridos durante el cursado de la carrea. Es en este tipo de desafíos, donde se logra comprender la importancia de nuestra profesión inculcada por los profesores que nos formaron, donde a partir de una necesidad se logra implementar una solución acorde a la de un trabajo final para obtener el título de Ingeniero Electrónico.



10. Bibliografía.

- [1]. Microchip Technology Inc.; In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) Guide; 2003
- [2]. Microchip Technology Inc.; PICkit™ 3 In-Circuit Debugger/Programmer User's Guide; 2013
- [3]. Microchip Technology Inc.; PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet; 2006
- [4]. Microchip Technology Inc.; CCP Module Implementation and Functionality; 2011
- [5]. Custom Computer Services, Inc.; CCS C Compiler Manual; 2019
- [6]. Maxim Integrated Products; DS3231 Extremely Accurate I2C-Integrated RTC/TCXO/Crystal; 19-5170; Rev 10; 3/15
- [7]. Maxim Integrated Products; Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer; 19-7487; Rev 6; 7/19
- [8]. Itead Studio; HC-05 Bluetooth module; 2010
- [9]. SparkFun Electronics; Logic Level Bidirectional; 2013
- [10]. Mit app inventor 2; App Inventor 2 Concepts; 2012
- [11]. Moran, M.J. Shapiro, H.N.; Fundamentos de Termodinámica Técnica.;1999.
- [12]. Katsuhiko Ogata; Sistemas de Control en Tiempo Discreto; Pearson Educación; Segunda edición; 1996.
- [13]. Manual para el cálculo y diseño de calentadores solares – Luis Bérriz Pérez; 2008
- [14]. Honeywell S.L.; TM50-ET-SP01R0512; 2018
- [15]. Caleffi S.p.a; 01256/17 E; 2017
- [16]. Dr. Ramón L. Zapata Sirvent, Dr. Carlos J. Jiménez Castillo, Dr. Jose Besso; Quemaduras – Tratamiento Crítico y Quirúrgico; Editorial ATEPROCA; 2005
- [17]. Full Gauge Controls; MT512E2HP13-02T-15381; 2016
- [18]. Enertik S.A.; GUÍA RÁPIDA • SW-TK8A; 2016
- [19]. Microchip Technology Inc; 1-Wire® Communication with PIC® Microcontroller; 2008.
- [20]. Maxim Integrated Products Inc.; DS18B20 - Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer; 2019
- [21]. Maxim Integrated Products Inc.; DS3231 - Extremely Accurate I2C-Integrated TC; 2015
- [22]. Microchip Technology Inc.; I2C™ Master Mode - Overview and Use of the PICmicro® MSSP I2C Interface; 2001
- [23]. Microchip Technology Inc.; I2C Network Protocol for Environmental Monitoring; 2002
- [24]. ITead Studio; HC-05 – Bluetooth to Serial Port Module; 2010
- [25]. Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE 802.15.1; 2005
- [26]. <https://es.wikipedia.org/wiki/Bluetooth> ; Ultima consulta: 06/05/2020