



CENTRO DE INGENIERÍA Y DESARROLLO INDUSTRIAL

Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial

Proyecto Industrial Terminal

“Sistema electrónico para el control ON/OFF de la extracción de heladas tipo radiación en zonas aguacateras”

PARA OBTENER LA ESPECIALIDAD EN:



“TECNÓLOGO EN MECATRÓNICA”

006945

PRESENTA

Alumno: Noé Amir Rodríguez Olivares

Tutor de Planta: Dr. Alfredo Manzo Preciado

Tutor Académico: M. C. y T. Luciano Nava Balanzar

Santiago de Querétaro, Querétaro, 2012.



Resumen

Debido al crecimiento de la población mundial, y de la necesidad del país de tener un mejor rendimiento en sus procesos productivos se desarrolla esta práctica industrial. En este trabajo se presenta el diseño de un sistema electrónico basado en un microcontrolador de la empresa Microchip para el control de las heladas tipo radiación en las zonas aguacateras. El diseño abarca desde el análisis de los requerimientos necesarios para asegurar un correcto funcionamiento del sistema electrónico. En el capítulo 1 se presenta un estado del arte de la producción nacional de aguacate así como las áreas de oportunidad donde la ingeniería puede intervenir para mejorar el rendimiento de la producción, y se justifica la razón de este trabajo. En el capítulo 2, se presenta un fundamento teórico de los métodos de protección contra heladas a través del tiempo aplicadas a nivel mundial. En el capítulo 3, se presenta todo el diseño y validación del sistema electrónico desarrollo y finalmente, en el capítulo 4 se presentan las conclusiones y recomendaciones generadas después de haber realizado este trabajo.

Agradecimientos

Mi familia ha sido mi razón de luchar durante toda mi vida, a ellos les debo todo lo que soy. Gracias a mi amada madre Josefa, por su incondicional apoyo, confianza y motivación para el logro de mis metas. A mi abuela, por apoyarme y enseñarme tantas cosas que no se aprenden en un aula, y que sólo la experiencia de los años te puede dar.

Agradezco a mi co-asesor doctor Alfredo Manzo, por otorgarme su confianza para encomendarme la tarea de desarrollar este proyecto, a mi co-asesor el M. C. y T. Luciano Nava por apoyarme durante estos meses para poder realizar mi trabajo, por su tiempo y su apoyo para que pudiera terminar mi curso propedéutico a la vez que este proyecto.

Al Doctor José Luis, gracias por toda la confianza otorgada y sobre todo, gracias por darme la oportunidad de desarrollarme plenamente durante la especialidad y motivarme a inscribirme al curso propedéutico.

Agradezco a todos mis profesores de la Especialidad, ya que en este trabajo apliqué muchos de los conocimientos que me otorgaron durante las clases.

Agradezco a Cristel por todo su apoyo y motivación para que acabara este trabajo correctamente, y sobre todo agradezco a mi amigo Alejandro Gómez, porque desde que llegó a Querétaro me apoyó para poder terminar este proyecto.

Y por último, pero no por eso no menos importante, agradezco al CONACYT y al CIDESI por el apoyo otorgado para realizar mi especialidad.

Índice

RESUMEN	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vii

CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes del CIDESI	2
1.2 Planteamiento del problema	2

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Perspectiva teórica	16
2.1.1 Sensibilidad de los cultivos	16
2.1.2 Historia de la protección contra heladas	17
2.1.3 Métodos de protección pasiva	19
2.1.3.1 Selección de lugar de cultivo y manejo	20
2.1.3.2 Drenaje del aire frío	21
2.1.3.3 La selección de las plantas	21
2.1.3.4 Cobertura con árboles	22
2.1.3.5 Gestión de nutrición de las plantas	22
2.1.3.6 El manejo de las plagas	23
2.1.3.7 Una poda adecuada	23
2.1.3.8 Cobertura de las plantas	23
2.1.3.9 Evitar el laboreo del suelo	24
2.1.3.10 El riego	25
2.1.3.11 Eliminación de las cubiertas de hierba	25
2.1.3.12 Pintar los troncos y envolturas	25
2.1.3.13 El control bacteriano	26
2.1.4 Métodos de protección activa	26

ÍNDICE

2.1.4.1	Las estufas	27
2.1.4.2	Los ventiladores	27
2.1.4.2.1	El SIS	28
2.1.4.3	Los helicópteros	32
2.1.4.4	Los aspersores	33
2.1.4.5	El riego de superficie y las espumas	34
2.2	Aspectos técnicos	35
2.2.1	El microcontrolador	35
2.2.2	El Bus I ² C	35
2.2.2.1	CI DS1307 reloj calendario en bus I ² C	36
2.2.2.2	CI PCF8591, ADC y DAC en bus I ² C	38
2.2.2.3	CI 24LC256, memoria EEPROM en bus I ² C	40
2.2.3	Comunicación serie asíncrona	41
2.2.4	Sensor de temperatura LM35	41
2.2.5	Memorias EEPROM	42
2.2.6	Comunicación USB mediante PIC18F2550	42
CAPITULO 3: DISEÑO		
3.1	Objetivos del diseño	45
3.2	Metodología	45
3.2.1	Investigación preliminar	46
3.2.2	Análisis del sistema y segmentación del proyecto	47
3.2.3	Diseño y simulación del sistema electrónico para el control del encendido y apagado mediante la temperatura	49
3.2.3.1	Código de acceso	49
3.2.3.2	Configuración de fecha y hora	52
3.2.3.3	Configuración de la salida	55
3.2.3.4	Lectura de la temperatura	56
3.2.3.5	Almacenamiento de datos	58
3.2.3.6	Otros aspectos necesarios	61
3.2.4	Diseño de sistema para transferencia de datos	64

ÍNDICE

3.2.4.1 Extracción de datos vía RS-232	65
3.2.4.2 Envío de datos vía USB a la PC	66
3.2.5 Interfaz gráfica	66
3.2.6 Armado en tablilla de pruebas	67
3.2.7 Diseño de PCBs	68
CAPITULO 4: PRUEBAS Y RESULTADOS	
4.1 Prueba de filtro de temperatura	72
4.2 Prueba de almacenamiento de datos	73
4.3 Prueba de visualización de datos	74
4.4 Simulación completa	75
4.5 Tarjetas desarrolladas	76
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES	
Conclusiones	79
REFERENCIAS	81

Índice de figuras

Figura 1.1	Relación de la temperatura y altura tomadas sobre un campo en el norte de Portugal para la producción de manzanos	4
Figura 1.2	Relación de la temperatura y altura tomadas sobre un campo en el norte de Portugal para la producción de manzanos	4
Figura 1.3	Flujo del aire frío ladera abajo	6
Figura 1.4	Daño al aguacate por heladas	7
Figura 2.1	Estufas utilizadas para la protección contra heladas	27
Figura 2.2	Diagrama del efecto de los ventiladores en el perfil de temperaturas	28
Figura 2.3	Funcionamiento del SIS	30
Figura 2.4	SIS trabajando sobre terreno plano con una cortina perimetral	31
Figura 2.5	SIS instalado en Michoacán	32
Figura 2.6	inversión de temperatura	33
Figura 2.7	Conexión de dispositivos mediante el bus I ² C	35
Figura 2.8	Distribución de pines del CI DS1307	36
Figura 2.9	Distribución de pines de CI PCF8591	39
Figura 2.10	Distribución de pines del CI 24LC256	40
Figura 2.11	Paginación de la memoria del CI 24LC256	41
Figura 3.1	Fragmentación del proyecto	47
Figura 3.2	Diagrama de bloques del proyecto completo	48
Figura 3.3	Conexión del teclado matricial de 4x4 y de la pantalla LCD de 20x4	50
Figura 3.4	Diagrama de flujo de código de acceso	51
Figura 3.5	Diagrama de código de acceso mostrado en pantallas	52
Figura 3.6	Conexión del CI DS1307 al PIC18F4550	53
Figura 3.7	Diagrama de flujo de fecha y hora	54
Figura 3.8	Diagrama de fecha y hora mediante pantallas	54
Figura 3.9	Encendido y apagado acorde a la temperatura	55
Figura 3.10	Diagrama de flujo de configuración de salida	55
Figura 3.11	diagrama de configuración de salida mediante pantallas	56
Figura 3.12	Filtro paso bajo de primer orden	56
Figura 3.13	Relación de Voltaje-Temperatura	57

ÍNDICE DE FIGURAS

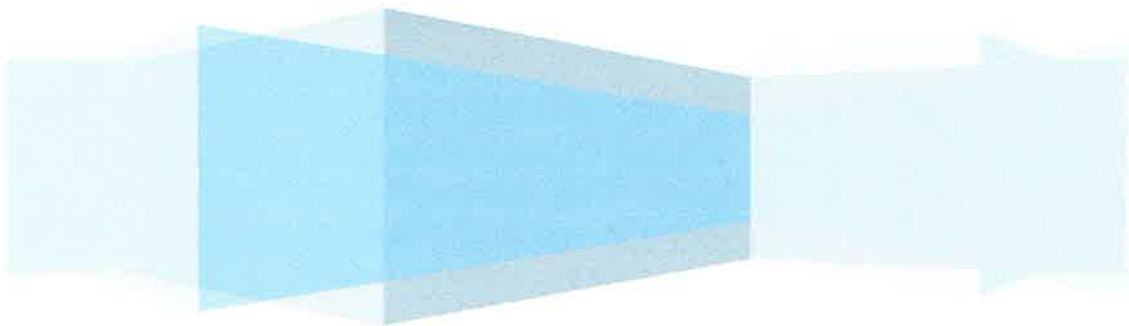
Figura 3.14	Conexión del CI 24LC256	58
Figura 3.15	Memoria de datos del 25LC256	58
Figura 3.16	Estructuración de la información	60
Figura 3.17	Arquitectura diseñada para el almacenamiento de la información	61
Figura 3.18	Pantalla principal	61
Figura 3.19	Diagrama de pantallas menú 1	62
Figura 3.20	Diagrama de pantallas de la descarga de datos	63
Figura 3.21	Diagrama de pantallas de paro de emergencia	63
Figura 3.22	Diagrama de pantallas del cambio de password	64
Figura 3.23	Diagrama de conexión utilizado para la extracción de los datos	65
Figura 3.24	Diagrama de conexión utilizado para la extracción y envío de los datos	66
Figura 3.25	Interfaz gráfica en LabView	67
Figura 3.26	Conexión en tablilla de pruebas	67
Figura 3.27	Esquemático del controlador y periféricos de la tarjeta de control	68
Figura 3.28	Esquemático de periféricos de la tarjeta de control	69
Figura 3.29	Vista inferior en modo espejo del PCB de la tarjeta de control	69
Figura 3.30	Esquemático de tarjeta de almacenamiento de datos	70
Figura 4.1	Prueba de filtro paso bajo	72
Figura 4.2	Lectura de la memoria EEPROM	73
Figura 4.3	Datos generados en LabView	74
Figura 4.4	Simulación completa	75
Figura 4.5	Tarjeta principal terminada	76
Figura 4.6	Dispositivo USB recolector de datos	77

Índice de tablas

Tabla 1.1	Producción nacional de aguacate por estado, 2010	8
Tabla 1.2	Superficie cosechada de aguacate por país, 1996-2009	9
Tabla 1.3	Principales países exportadores de aguacate, 2010	9
Tabla 1.4	Rendimientos mundiales de aguacate por país, 1996-2009	10
Tabla 1.5	Susceptibilidad de frutas y verduras al daño por heladas	10
Tabla 1.6	Temperatura de congelación más alta para frutas y verduras	11
Tabla 1.7	Temperatura promedio mensual en Morelia, Michoacán	12
Tabla 2.1	Características de las cubiertas más comunes	24
Tabla 2.2	Mapa de la memoria RAM del CI DS1307	37
Tabla 2.3	Organización de datos de fecha y hora en CI DS1307	38
Tabla 2.4	Tabla de verdad de frecuencia de salida de CI DS1307	38
Tabla 2.5	Relación de función de pines del CI PCF8591	39

CAPÍTULO 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



1.1 Antecedentes del CIDESI

De acuerdo con la página de internet del Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI), este fue fundado el 9 de marzo de 1984, y pertenece al Sistema de Centros del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Además en su página web se menciona que:

CIDESI está Certificado bajo la Norma ISO 9001:2008 y es el primer Centro del Sistema CONACYT Certificado en AS9100 B como proveedor de la industria aeronáutica. Ha sido distinguido con el Premio Nacional de Tecnología 2003 y con el Premio Estatal de Exportación 2004 del Estado de Querétaro. Es Proveedor confiable de PEMEX, Proveedor autorizado de BOMBARDIER, Miembro de Alianza con National Instruments y Casa de Diseño de Texas Instruments. Contribuye al desarrollo del sector productivo del país, en sus dos sedes ubicadas en el Estado de Querétaro y en el de Nuevo León dentro del Parque de Investigación e Innovación Tecnológica de Monterrey. (parr. 3).

De acuerdo con lo antes mencionado, se hace notar que el CIDESI es un proveedor confiable a las industrias en múltiples disciplinas, por lo cual, en los siguientes párrafos se plantean las bases de este reporte de práctica industrial.

1.2 Planteamiento del problema

Antes de comenzar a plantear el problema, es necesario aclarar el concepto de “helada”, ya que esto facilitará la comprensión del tema. Técnicamente, la palabra “helada” se entiende como la formación de cristales de hielo sobre las superficies, tanto por congelación del rocío como por un cambio de estado de vapor de agua a hielo (Blanc et al., 1963; Bettencourt, 1980; Mota, 1981; Cunha, 1982); sin embargo, de acuerdo con Snyder, R. y Melo-Abreu, J.P. el concepto de helada es ampliamente utilizado por los agricultores para describir un evento meteorológico cuando los cultivos y otras plantas experimentan daño por congelación (2010), esta congelación se da cuando la temperatura de la superficie cae por debajo de 0°C (Cunha,1952) y además se da una temperatura baja del aire, tanto que causa el daño o la muerte de las plantas (Vitkevich, 1960).

Snyder, Paw U y Thompson (1987) y Kalma *et al.* (1992) definen dos tipos de heladas: la “advectiva” y la “radiativa”. Las heladas advectivas están asociadas con incursiones a gran escala de aire frío en una atmósfera con viento bien mezclado, y una temperatura que a menudo está por debajo de 0°C, incluso durante el día. Las heladas de radiación están asociadas con el enfriamiento debido a la pérdida de energía por el intercambio radiante durante las noches despejadas y en calma, y con inversiones de temperatura (la temperatura aumenta con la altura). En algunos casos, se produce una combinación tanto de condiciones advectivas como radiativas.

De acuerdo con Snyder, R. y Melo-Abreu, J.P. (2010) las heladas tipo radiación son acontecimientos más usuales, caracterizados por cielo despejado, en calma o con poco viento, inversión de temperatura, temperaturas del punto de rocío bajas y temperaturas del aire que normalmente caen por debajo de 0 °C durante la noche pero que están por encima de 0 °C durante el día. La temperatura del punto de rocío es la temperatura que se alcanza cuando el aire se enfría hasta que alcanza una humedad relativa del 100%, y es una medida directa del contenido de vapor de agua del aire.

La característica de la helada radiativa es que durante la noche con cielos despejados, se pierde más calor por radiación que la que se recibe y ello conduce a una caída de la temperatura. La temperatura cae más rápido cerca de la superficie que está radiando provocando la formación de una inversión de temperatura (la temperatura aumenta con la altura por encima del suelo) (Snyder *et al.*, 2010). Un ejemplo de este proceso se muestra en la siguiente figura 1.1 donde se presenta la relación de la temperatura y altura tomada sobre un campo en el norte de Portugal para la producción de manzanos, donde se puede apreciar claramente como la temperatura aumenta conforme aumenta la altura.

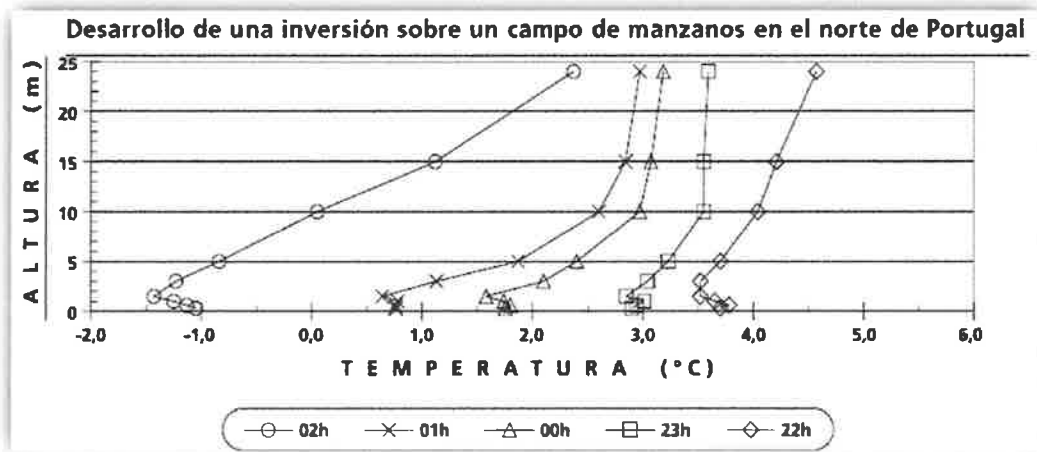


Figura 1.1 Relación de la temperatura y altura tomadas sobre un campo en el norte de Portugal para la producción de manzanos.

Esto se debe a que hay una pérdida neta de energía por la radiación desde la superficie, el contenido de calor sensible de la superficie del suelo y del aire cercano a la superficie disminuyen. Hay un flujo de calor sensible hacia abajo desde el aire y hacia arriba desde el suelo hacia la superficie para remplazar la pérdida de calor sensible. Esto provoca que la temperatura disminuya también en el aire, pero no tan rápidamente como en la superficie (Snyder *et al*, 2010). La altura de la parte superior de la inversión de temperatura es variable dependiendo de la topografía local y de las condiciones meteorológicas, pero generalmente varía de los 9 a los 60 m (Perry, 1994).



Figura 1.2 Inversión de la temperatura.

Hay dos sub-categorías de heladas de radiación. Una “helada blanca” que ocurre cuando el vapor de agua se deposita sobre la superficie y forma una capa blanca de hielo que se denomina normalmente “escarcha”. Una helada “negra” que ocurre cuando la temperatura cae por debajo de 0 °C y no se forma hielo sobre la superficie. Si la humedad es suficientemente baja, entonces la temperatura de la superficie puede que no alcance la temperatura del punto de formación de hielo y no se formará escarcha. Cuando la humedad es alta, el hielo es más probable que se deposite y se produce una “helada blanca”. Como el calor se libera durante el proceso de deposición del hielo, las heladas blancas normalmente producen menos daño que las heladas negras.

Snyder, R. y Melo-Abreu, J.P. (2010) indican que cuando la temperatura del aire cae por debajo de los 0°C, los cultivos sensibles pueden sufrir daños, con un efecto significativo en la producción. Por ejemplo, en los Estados Unidos de América, hay más pérdidas económicas por el daño de las heladas que por cualquier otro fenómeno relacionado con la meteorología (White y Haas, 1975). Por lo tanto, los impactos sobre los agricultores afectados y sobre la economía local son con frecuencia, devastadores. La cantidad de daño depende de la sensibilidad del cultivo a la congelación en el momento de producirse el evento y del tiempo que la temperatura está por debajo de la temperatura “crítica de daño”. Por ejemplo, Argentina, Australia, Canadá, Finlandia, Francia, Grecia, Israel, Japón, Jordania, Nueva Zelanda, Portugal, Suiza, Estados Unidos de América y Zambia han desarrollado técnicas de previsión de temperatura mínima (Bagdonas, Georg y Gerber, 1978) para ayudar en la protección contra heladas. Naturalmente, muchos otros países en climas templados y áridos y con altitudes elevadas también tienen problemas con el daño por helada.

De acuerdo con Snyder *et al* en gran medida, el potencial del daño por helada depende de las condiciones locales. Además, es difícil presentar una evaluación geográfica del daño potencial. La probabilidad de temperaturas bajo cero está afectada por las condiciones locales que no pueden mostrarse en un mapa global. De hecho, los agricultores pueden experimentar algunas pérdidas económicas debido al daño por heladas incluso si ocurren con poca frecuencia.

Mientras que se necesita más y mejor información del riesgo de daño por heladas para cada terreno, no hay sustituto para una buena información que un buen seguimiento local. Muchos agricultores tienen una idea acertada sobre la localización de las zonas frías en su localidad. Es definitivamente necesario consultar a los vecinos antes de plantar cultivos sensibles en un lugar específico. Generalmente, deben evitarse las zonas bajas, donde el aire frío se embalsa, en la figura 1.3 se muestra como el aire frío fluye ladera abajo y se acumula en las zonas más bajas como si fuera agua, esto debido a que el aire frío es más denso que el aire caliente.

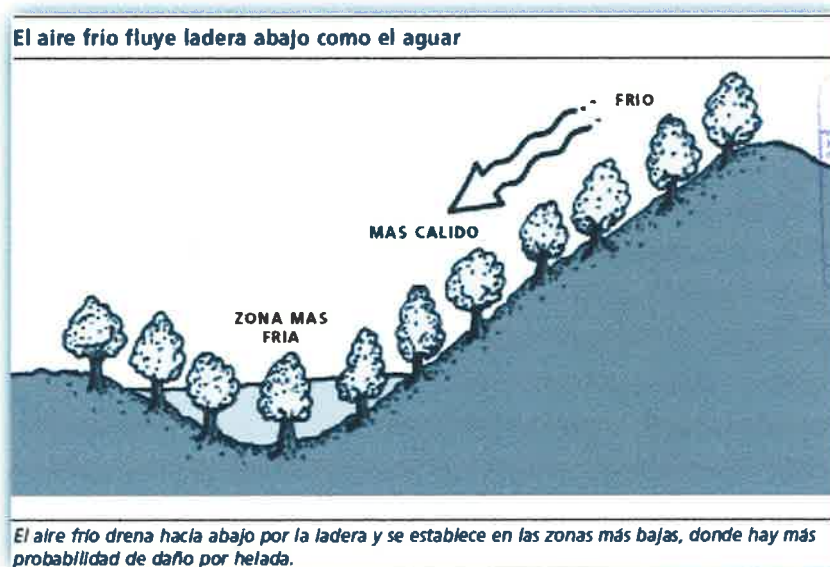


Figura 1.3 Flujo del aire frío ladera abajo.

Hay que evitar también las áreas donde la topografía natural o modificada impide el drenaje del aire frío desde el emplazamiento. Como la niebla del suelo se forma inicialmente en las zonas bajas, una buena regla es evitar los emplazamientos donde se forma pronto la niebla. Definitivamente, se deberían revisar los mapas topográficos locales antes de plantar cultivos sensibles a las heladas en emplazamientos de alto riesgo (2010).

En los Estados Unidos de América, en el Estado de Florida, la industria de los cítricos ha sido devastada por el daño de las heladas en varias ocasiones, resultando en el costo de frutos y árboles de varios miles de millones de dólares (Cooper, Young y Turrell, 1964;

Martsolf *et al.*, 1984; Attaway, 1997). En California, la helada de diciembre de 1990 causó aproximadamente 500 millones de dólares en pérdidas de frutos y daños a aproximadamente 450 000 ha de árboles (Attaway, 1997). Hubo aproximadamente 700 millones de dólares en daños durante la helada de diciembre de 1998 (Tiefenbacher, Hagelman y Secora, 2000). De forma similar, se han observado con frecuencia en todo el mundo enormes pérdidas económicas de otros cultivos sensibles. Por ejemplo, Hewitt (1983) describió los efectos de la congelación en la producción de café en Brasil durante la década de 1960 y de 1970. La muerte en invierno de cereales también es un problema importante (Stebelsky, 1983).

En México, en el estado de Michoacán, de acuerdo con Arellano (2012) este 2012 el aguacate, el mango, la zarzamora y la guayaba se ven afectadas por las heladas. Gerardo Perfino Mejía, experto en fruticultura menciona respecto a las heladas lo siguiente (Arellano, 2012):

Les generaría perdidas, ya que a pesar de que la humedad es buena para la planta, lo cierto es que debe de haber ausencia de heladas, ya que si las hay, estas generarían que se quemara la flor, el follaje y el fruto. (parr.3).

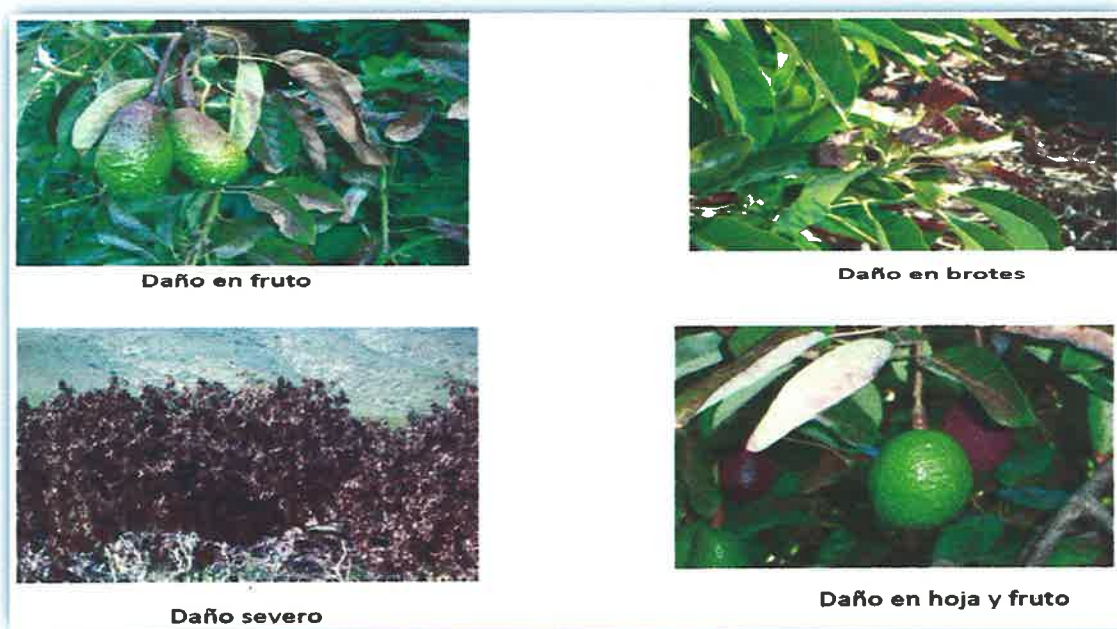


Figura 1.4 Daño al aguacate por heladas.

El daño por heladas al aguacate en México genera mucha tensión en los agricultores mexicanos, ya que cada año el temor es latente y propicia la especulación sobre la producción anual, y es que este problema impacta directamente a la economía de muchas familias mexicanas ya que México es el mayor consumidor por persona a nivel mundial con 10kg de aguacate al año, además el temor y la tensión sobre la reducción anual de aguacate en México tiene efectos incluso a nivel mundial (Arellano, 2012); en México el estado de Michoacán es el más afectado por heladas en la producción de aguacate, ya que este estado es el principal productor, tan sólo en Michoacán se destinan 106 mil hectáreas de aguacate y de estas en el año 2010 unas 20 mil resultaron afectadas por heladas (Arellano, 2012), a pesar de eso, en 2010 se cosecharon 950 mil toneladas de un total nacional de 1,107 millones, lo que representó el 85.9% de la producción total (Dirección General de Industrias Básicas de la Secretaría de Economía de México, 2012).

Ubicación	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Tons)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor Producción (Miles de pesos)	% Producción	% Prod. Acumulado
Michoacán	107,058	103,303	950,942	9.2	13,293	12,640,768	85.9%	85.9%
Jalisco	8,468	4,226	29,987	7.1	12,364	370,754	2.7%	88.6%
Morelos	3,348	2,999	26,860	9.0	11,451	307,573	2.4%	91.0%
Nayarit	2,708	2,696	25,843	9.6	6,893	178,129	2.3%	93.4%
México	3,615	2,156	21,328	9.9	14,529	309,868	1.9%	95.3%
Guerrero	2,391	1,896	12,334	6.5	6,472	79,831	1.1%	96.4%
Yucatán	489	467	10,418	22.3	4,650	48,449	0.9%	97.3%
Resto	6,246	5,650	29,423	7.6	7,703	230,385	2.7%	100.0%
TOTAL	134,322	123,393	1,107,135	9.0	12,795	14,165,758	100%	

Fuente: SIAP SAGARPA

Tabla 1.1 Producción nacional de aguacate por estado, 2010.

El daño por heladas al aguacate en México también tiene repercusiones a nivel internacional debido a que México es líder mundial en el mercado de aguacate, participando en 2009 con el 28% de la superficie de siembra de aguacate a nivel mundial (Dirección General de Industrias Básicas de la Secretaría de Economía de México, 2012).

CAPÍTULO 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Superficie cosechada de aguacate por país, 1996-2009
(Miles de hectáreas)

CONCEPTO	1996	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Part. % 2009	TMCA (%) 1996 - 2009
México	89.9	94.1	94.1	93.8	95.4	100.0	103.1	105.5	110.4	114.5	121.5	28%	2.3%
Chile	15.1	21.2	22.3	23.3	23.8	24.0	26.7	26.7	26.8	33.8	33.5	8%	6.3%
Indonesia	19.0	13.3	11.2	15.8	17.3	15.5	17.1	15.6	17.2	19.8	20.0	5%	0.4%
Estados Unidos	26.6	26.4	26.2	26.6	27.1	27.8	27.4	29.1	29.7	29.5	26.8	6%	0.1%
Colombia	9.5	13.2	13.8	14.0	15.5	16.0	16.1	17.6	18.8	18.5	16.9	4%	4.5%
Brasil	13.3	12.7	11.8	12.3	10.1	11.9	11.5	10.4	9.8	9.5	8.4	2%	-3.5%
Rep. Dominicana	10.0	6.1	8.7	3.8	6.6	6.9	5.1	7.2	7.0	6.3	9.5	2%	-0.4%
Subtotal	183.5	187.0	188.2	189.6	195.8	202.1	207.0	212.1	219.7	231.8	236.7	54%	2.0%
Resto de países	125.1	152.8	150.7	159.5	166.2	169.2	179.3	188.4	207.0	205.7	199.6	46%	3.7%
Total Mundial	308.6	339.8	338.9	349.1	362.0	371.3	386.4	400.5	426.7	437.5	436.3	100%	2.7%

Fuente: FAOSTAT

Tabla 1.2 Superficie cosechada de aguacate por país, 1996-2009.

En la temporada de exportación 2010-2011, a pesar de haberse dañado 20 mil hectáreas de aguacate, se enviaron 281 mil 140 toneladas al mercado estadounidense, y considerando el total de aguacate exportado en 2010, se enviaron 325 mil toneladas, lo que representa un ingreso al país de 594 millones de dólares (Ramírez, 2011. Dirección General de Industrias Básicas de la Secretaría de Economía de México, 2012).

Principales países exportadores de aguacate*, 2010

	País	Valor (millones de dólares)	Volumen (miles de ton)	Volumen Part %	Volumen Part % acumulada
1	Mexico	594.0	326.1	51.4%	51.4%
2	Israel	75.0	73.8	11.6%	63.0%
3	Peru	84.6	59.5	9.4%	72.4%
4	Sudáfrica	43.7	50.6	8.0%	80.3%
5	Estados Unidos	49.5	28.6	4.5%	84.8%
6	Italia	38.6	23.9	3.8%	88.6%
7	Rep. Dominicana	18.0	18.7	2.9%	91.5%
8	Nueva Zelanda	37.8	10.3	1.6%	93.2%
9	Francia	20.5	9.5	1.5%	94.7%
10	Ecuador	0.5	8.2	1.3%	96.0%
	Resto	45.07	25.6	4.0%	100.0%
	Total Mundial	1,007.3	634.8	100%	

* Subpartida 080440 del Sistema Armonizado

Tabla 1.3 Principales países exportadores de aguacate, 2010.

CAPÍTULO 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Sin embargo, en México como se muestra en la tabla 1.4 su rendimiento por hectárea de aguacate ocupa “el cuarto lugar a nivel mundial con 10.1 Toneladas por Hectárea por debajo de República Dominicana (19.3 Ton. /Ha.), Colombia (16.5 Ton. /Ha.), Brasil (12.9 Ton./Ha.), seguido por Chile (10 Ton/ha) y Estados Unidos e Indonesia (9.8 Ton./Ha.)”. (Dirección General de Industrias Básicas de la Secretaría de Economía de México, 2012), esto debido a los daños por heladas (Ramírez, 2011) y es que de acuerdo con Wang y Wallace (2003), en la tabla 1.5, se clasifica al Aguacate como uno de los más susceptibles a sufrir daño por heladas.

Rendimientos mundiales de aguacate por país, 1996-2009												
(Toneladas por hectárea)												
	1996	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	TMCA (%) 96-09
Rep. Dominicana	10.0	13.4	12.8	38.9	41.6	31.9	22.3	30.3	26.3	18.7	19.3	5.2%
Brasil	7.5	11.0	12.6	15.1	14.8	14.3	13.3	15.3	11.7	11.4	12.9	4.2%
Colombia	6.1	6.8	13.0	14.1	15.6	14.3	14.7	15.7	15.8	15.6	16.5	8.0%
Indonesia	12.0	10.0	9.9	10.2	10.5	10.7	10.7	10.9	10.3	10.0	9.8	-1.6%
México	9.3	9.6	10.0	9.6	9.5	9.9	9.9	10.8	10.4	9.8	10.1	0.6%
Chile	6.5	8.2	7.7	6.8	7.8	5.9	10.4	8.5	6.5	3.9	10.0	3.4%
Estados Unidos	4.0	4.6	4.9	6.0	5.9	6.7	6.0	7.7	9.7	9.8	9.8	7.2%
Total Mundial	7.55	8.0	8.4	8.6	8.9	8.8	9.0	9.1	8.6	8.1	8.2	0.6%

Fuente: FAOSTAT

Tabla 1.4 Rendimientos mundiales de aguacate por país, 1996-2009.

Susceptibilidad de frutas y verduras al daño por heladas		
MÁS SUSCEPTIBLES	MODERADAMENTE SUSCEPTIBLES	MENOS SUSCEPTIBLES
Aguacates	Apio	Barbón común
Albaricoques	Brócoli	Berza común
Bananas	Calabaza, Invierno	Chirivías
Batata o Boniato	Cebolla (seca)	Col rábano
Bayas (excepto frambuesas)	Coliflor	Col, madura y sabrosa
Berenjena	Espinacas	Coles de Bruselas
Calabaza, Verano	Frambuesa	Colinabos
Ciruelas	Gulsantes	Dátiles
Espárragos	Manzanas	Nabos
Judías verdes	Naranjas	Remolachas
Lechuga	Peras	
Lima	Perejil	
Limonos	Rábanos	
Melocotoneros	Uva de mesa	
Okra	Uvas	
Patatas	Zanahorias	
Pepinos		
Pimientos, dulces		
Tomates		

Tabla 1.5 Susceptibilidad de frutas y verduras al daño por heladas.

Además, Whiteman (1957), presenta en la tabla 1.6 la temperatura de congelación más alta para frutas y verduras donde presenta las variedades de aguacate, en México se produce la variedad Hass debido a sus ventajas en calidad, productividad y resistencia (Dirección General de Industrias Básicas de la Secretaría de Economía, 2012), con lo cual una temperatura menor de -1.6 grados centígrados son muy dañinos para el aguacate.

La temperatura de congelación más alta para frutas y verduras		
NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	TEMPERATURA (°C)
Acerola; Cereza de Barbados	<i>Malpighia glabra</i>	-1,4
Ajo (bulbo)	<i>Allium sativum</i>	-2,0
Albaricoque	<i>Prunus armeniaca</i>	-1,1
Alcachofa	<i>Cynara scolymus L.</i>	-1,2
Alcachofa de tierra	<i>Helianthus tuberosus L.</i>	-2,5
Aceitunas de mesa	<i>Olea europea</i>	-1,4
Aguacate	<i>Persea Americana</i>	
cv. Fuchs, Pollock		-0,9
cv. Fuerte, Hass		-1,6
cv. Lula, Booth		-0,9

Tabla 1.6 Temperatura de congelación más alta para frutas y verduras.

Y es que las heladas tipo radiación son las que más afectan a la producción de aguacate en Michoacán, ya que de acuerdo con la página de convenciones Michoacán, en la tabla 1.7 se indica que la temperatura mínima para los meses de Enero, Febrero, Marzo, Noviembre y Diciembre es menor a los diez grados centígrados, un valor muy cercano al dañino para el aguacate en Michoacán si consideramos que los valores mínimos en los meses de Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero y Marzo son valores promedio.

CAPÍTULO 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Altura sobre nivel del mar	TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL EN MORELIA					
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
1,950 mts.	Max: 22°C Min: 5°C *Días con lluvia: 3 	Max: 24°C Min: 7°C *Días con lluvia: 3 	Max: 27°C Min: 9°C *Días con lluvia: 3 	Max: 30°C Min: 12°C *Días con lluvia: 3 	Max: 32°C Min: 14°C *Días con lluvia: 3 	Max: 29°C Min: 14°C *Días con lluvia: 3 
Altura sobre nivel del mar	TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL EN MORELIA					
	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1,950 mts.	Max: 27°C Min: 13°C *Días con lluvia: 3 	Max: 24°C Min: 13°C *Días con lluvia: 3 	Max: 24°C Min: 13°C *Días con lluvia: 3 	Max: 24°C Min: 11°C *Días con lluvia: 3 	Max: 23°C Min: 8°C *Días con lluvia: 3 	Max: 22°C Min: 6°C *Días con lluvia: 3 

Tabla 1.7 Temperatura promedio mensual en Morelia, Michoacán.

Aunque las pérdidas de los agricultores pueden ser enormes, también hay muchos efectos secundarios en las comunidades locales y regionales. Por ejemplo, si no hay fruta para recolectar, los recolectores de fruta estarán sin empleo, los procesadores tendrán poca o ninguna fruta, y por ello los empleados estarán sin trabajo, y, debido al desempleo, habrá menos dinero en circulación y la economía local del estado de Michoacán sufrirá. Consecuentemente, hay que emplear un esfuerzo considerable en reducir el daño por helada. Es por eso que en el Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI), se está diseñando un equipo para la protección contra las heladas del tipo ventilador vertical (extractor), y es que los ventiladores, en general, tienen unos requerimientos de mano de obra y unos costos de funcionamiento más bajos que otros métodos; especialmente los ventiladores eléctricos (Snyder et al, 2010).

Sin embargo, el ventilador vertical que se está diseñando en CIDESI debe ser controlado para que encienda en el momento y el tiempo adecuado, por lo cual es necesario diseñar un sistema electrónico para el control ON/OFF de la extracción de heladas tipo radiación para aplicarlo en cultivos de aguacate, además de que es necesario poder almacenar la información del equipo cada cierto intervalo de tiempo, para poder conocer cuál ha sido su comportamiento durante el tiempo que este en funcionamiento.

Objetivos

El objetivo general de la práctica industrial es diseñar un sistema electrónico basado en un microcontrolador para controlar el encendido y apagado de un ventilador vertical para la extracción de heladas en zonas aguacateras.

Objetivos específicos:

- Programación del microcontrolador para cumplir con las funciones de lectura de temperatura, control de encendido y apagado configurable e historial de funcionamiento.
- Simulación del sistema en software.
- Armado del sistema en tablilla de pruebas para la validación de la programación.
- Diseño y desarrollo de la tarjeta de control (PCB).
- Ensamble e integración.
- Pruebas finales.

Justificación

Es necesario desarrollar este sistema de control ya que, el ventilador que se está diseñando en CIDESI necesita tener un control de encendido y apagado en base a la temperatura del medio, además con la aplicación de este sistema se plantea mejorar el rendimiento por Hectárea de 10.1 Ton/h a un valor mucho más cercano a los 19.3 Ton/h producidos por la República Dominicana, ya que si no se trata de mejorar el rendimiento por hectárea de los cultivos de acuerdo con Snyder *et al* no habrá suficiente provisión de alimentos para abastecer a toda la población mundial atendiendo a la tasa actual de crecimiento, a no ser que mejore la tecnología en agricultura, que los recursos naturales se usen con más eficiencia y que los que tomen decisiones tengan información actualizada de las principales circunstancias que afectan a los cultivos (2010). El desarrollo de este sistema colabora con la investigación, ya que existen y se han probado ventiladores verticales que empujan verticalmente el aire hacia arriba. Sin embargo, no existían investigaciones publicadas al año 2012 (Snyder *et al*, 2010). Por lo tanto este proyecto tiene

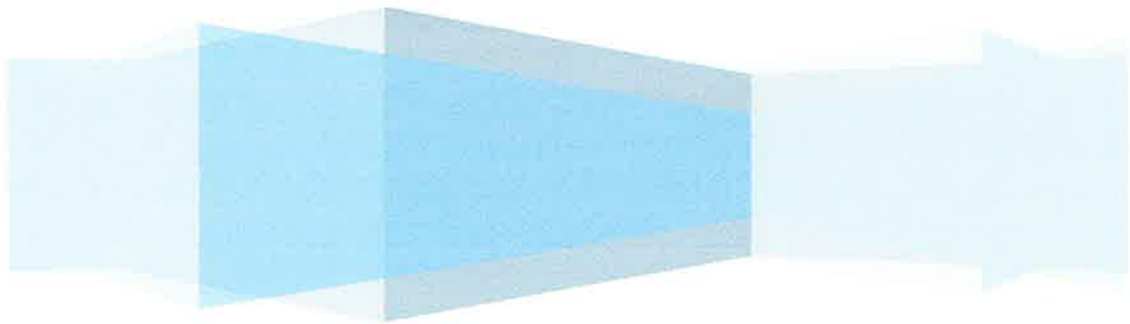
una importancia potencial por su implicación práctica, además que será de utilidad metodológica debido a que permitirá realizar pruebas con ventiladores del tipo vertical, que como se mencionó anteriormente, hay poca información con respecto a ellos.

Viabilidad

El desarrollo de este proyecto es viable de ser realizado debido a que en CIDESI se cuenta con todo el equipo de cómputo, material electrónico, herramienta y equipo especializado para el maquinado de PCBs, además, si este proyecto se logra conjuntar adecuadamente con el ventilador de tipo vertical y se logran obtener excelentes resultados, se puede estimar que se logre recuperar al menos un porcentaje de las 20 mil hectáreas dañadas por heladas, esto es demasiado importante, si consideramos que en promedio en el decenio de 2000-2009 los precios al productor estuvieron en torno a 688 dólares por tonelada en México (Dirección General de Industrias Básicas de la Secretaría de Economía de México, 2012), y si cada hectárea produce en promedio 10.1 Toneladas, y este rendimiento se puede mejorar, los beneficios del desarrollo de este sistema son muy buenos.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO



2.1 Perspectiva teórica

Dentro de las consideraciones para el desarrollo del sistema electrónico para el control ON/OFF de la extracción de heladas tipo radiación para aplicarlo en cultivos de aguacate, primero es necesario conocer algunos aspectos básicos, como son los desarrollados en los siguientes subcapítulos.

2.1.1. Sensibilidad de los cultivos

El daño que provocan las heladas a los cultivos no se debe a las frías temperaturas sino principalmente a la formación de hielo extracelular (fuera de las células) dentro del tejido de la planta, provocando la salida de agua y dañando las células por deshidratación.

Después de periodos fríos, las plantas tienden a endurecerse contra el daño por congelación y pierden su dureza tras una temporada cálida. Una combinación de estos y otros factores determina la temperatura a la cual se forma el hielo dentro del tejido de las plantas y en qué momento se produce el daño. La cantidad de daño por helada aumenta con la caída de temperatura y la temperatura correspondiente a un nivel específico de daño se denomina “Temperatura crítica” o “Temperatura crítica de daño”, y se expresa por el símbolo T_c . En general, la mayor parte de temperaturas críticas se determinan en estudios realizados en cámaras de crecimiento que se van enfriando a un ritmo predeterminado que se mantiene durante 30 minutos. Después se registra el porcentaje de daño.

A pesar de que los valores de T_c proporcionan alguna información sobre cuándo poner en marcha y detener los métodos activos de protección contra heladas, deberían utilizarse con precaución, ya que es difícil medir los tejidos sensibles de las plantas, y estas temperaturas es probable que difieran de la temperatura del aire, que es la que normalmente miden los agricultores (Snyder *et al*, 2010).

2.1.2. Historia de la protección contra heladas

De acuerdo con Snyder *et al* a pesar de que todos los aspectos de la producción de los cultivos estén bien gestionados, una noche con temperaturas de congelación puede conducir a la pérdida completa del cultivo. Los eventos que causan daño empiezan normalmente con advección de aire frío seguido por unas pocas noches con heladas de radiación.

Cuando los cultivos tropicales son dañados por el frío, la temperatura está normalmente por encima de cero. Cuando ocurre daño a temperaturas por encima de 0 °C, se denomina daño por “enfriamiento” más que por “congelación”. Para los agricultores productores de grano, la principal respuesta fue plantar cultivos o variedades que fueran menos susceptibles al daño (por ejemplo plantar trigo de primavera más que trigo de invierno), o no plantar cultivos sensibles en la zona si el daño se produce con demasiada frecuencia. Un buen ejemplo de ello fue el movimiento de la industria de los cítricos más al Sur de Florida en respuesta a las distintas heladas graves durante la década de los años 1980 y de 1990 (Attaway, 1997). Al mismo tiempo, debido a temperaturas más favorables, la industria del olivo se ha ido moviendo hacia el norte de Italia donde los factores, suelo y clima, permiten la producción de aceite de oliva de alta calidad.

Attaway (1997) observó que antes de 1835 los naranjos se cultivaban normalmente en Carolina del Sur, Georgia y el Norte de Florida, donde, la gente hoy en día no consideraría la producción comercial de naranjas debido a las pérdidas potenciales por daño por helada. Attaway citó algunos ejemplos de frutales subtropicales que han sobrevivido hasta aproximadamente 1835, cuando se produjo una helada grave. De hecho, existían citas de documentos recomendando el cultivo de frutas subtropicales en el Sudeste de América para poder competir con la fruta producida en los países mediterráneos de Europa. Con el clima actual, la producción de frutas subtropicales no se podría considerar en estas áreas. Attaway (1997) indica que sus observaciones están basadas más en la experiencia de los agricultores que en la climatología, pero pocos eventos de heladas capaces de producir daño deben haber ocurrido durante los periodos de 1700–1800s para que los agricultores hayan producido frutas subtropicales donde, hoy en día, no pueden producirse económicamente.

La historia del daño por heladas es más esporádica en el clima mediterráneo de California, la helada de diciembre de 2000 fue un buen ejemplo de cómo el endurecimiento puede proporcionar protección contra el daño por helada. En Florida, antes del paso de un frente frío y la caída de las temperaturas bajo cero, temperaturas relativamente cálidas preceden a una helada grave. Consecuentemente, los árboles están menos endurecidos contra los daños por helada que aquellos expuestos en las dos heladas de California. De forma interesante, Attaway (1997) enfatizó la naturaleza inconsistente del daño por helada que se observó tras la helada. Por ejemplo, dentro de una región relativamente pequeña, observó pérdidas del 70% al 80% de la producción de naranjas en el valle de Ojai, pérdidas del 60% al 70% en el cañón de Santa Paula, pero solo pérdidas del 20% en el valle de Santa Clara, que está relativamente cerca. Esto ilustra la naturaleza asociada de forma específica a un lugar del daño por helada a los cultivos, especialmente en regiones montañosas y con cuevas como el condado de Ventura en California. La helada de diciembre de 1998 no fue tan mala para los citricultores de California como lo fue la de 1990; sin embargo, todavía está considerada como una de las heladas más importantes del siglo veinte.

Las primeras estufas con contenedor metálico conocidas (como estufas con chimenea o recipientes que producían humo) para la protección contra heladas fueron introducidas por W.C. Scheu en 1907 en Grand Junction, Colorado, Estados Unidos. Descubrió que los dispositivos utilizados para calentar que quemaban petróleo eran más eficientes que los fuegos abiertos. Más tarde se conoció como estufas para plantaciones frutales HY-LO, las cuales eran fabricadas por la Scheu Manufacturing Company, que todavía hoy produce estufas portátiles. Incluso antes de las estufas para plantaciones frutales HY-LO los agricultores utilizaban contenedores metálicos sencillos que quemaban aceites pesados o neumáticos viejos de caucho que contenían serrín. Estos fuegos producían considerable humo aceitoso que durante un largo tiempo se creyó que proporcionaban protección contra la congelación bloqueando las pérdidas de radiación neta desde la superficie. De hecho, se sabe que si añaden partículas de humo al aire desde las estufas en las plantaciones frutales se aporta una escasa o prácticamente nula protección (Mee y Bartholic, 1979). El uso de las estufas para plantaciones frutales fue una práctica muy extendida durante algún tiempo, pero el humo era un contaminante terrible y el uso de las estufas en las plantaciones frutales

que producen humo fue más tarde prohibido en los Estados Unidos por razones sanitarias y ambientales. Se necesitó una fuerte protesta pública para eliminar definitivamente el uso de estufas que producen humo.

Durante los años 50, las máquinas de viento empezaron a sustituir a las estufas como el método preferido de protección contra las heladas. Eran más caras de comprar, pero la mano de obra y los costos de funcionamiento eran más bajos. Hacia los años 70, el uso de estufas para la protección contra heladas era casi inexistente en California. Pequeños fuegos y estufas con combustible sólido todavía se utilizan en algunas partes del mundo. Sin embargo, es probable que finalmente se paralice el uso de todas las estufas quemadoras salvo las limpias (2010).

2.1.3 Métodos de protección pasiva

La protección pasiva incluye métodos que se han implementado antes de la noche de la helada lo que hace que se pueda evitar la necesidad de protección activa. Los principales métodos pasivos son:

La selección del emplazamiento; El manejo del drenaje de aire frío; La selección de plantas; La cobertura con árboles; La gestión de la nutrición de las plantas; La poda adecuada; La cobertura de las plantas; El evitar el laboreo del suelo; El riego; El suprimir las cubiertas de hierba que cubren el suelo; Las coberturas del suelo; El pintar los troncos y envolturas; El control bacteriano; y La fecha de siembra para los cultivos anuales.

Los métodos pasivos son normalmente menos costosos que los métodos activos y a menudo los beneficios son suficientes para evitar la necesidad de la protección activa (Snyder *et al*, 2010).

2.1.3.1 Selección de lugar de cultivo y manejo

Los agricultores son conscientes de que algunas zonas son más propensas que otras al daño por heladas. El primer paso para seleccionar un lugar para una nueva plantación es hablar con la gente del lugar sobre qué cultivos y variedades son apropiadas para el área. Los agricultores y técnicos de la zona a menudo tienen más idea sobre qué emplazamientos pueden ser más problemáticos. Normalmente, las zonas topográficas bajas tienen temperaturas más frías y por tanto pueden sufrir más daño. Hay que tener en cuenta que el daño a veces puede ocurrir en una parte del área cultivada y no en otra, sin que se aprecien diferencias topográficas. En algunos casos ello puede ser debido a las diferencias en el tipo de suelo, que puede afectar a la conducción y al almacenamiento del calor en el suelo.

Los suelos arenosos y secos transfieren el calor mejor que los suelos arcillosos pesados y secos. Cuando se selecciona un lugar en una región propensa a las heladas, hay que evitar plantar en los suelos orgánicos. El aire frío es más denso que el aire caliente, y por consiguiente fluye ladera abajo y se acumula en las zonas bajas igual que el agua en una inundación. Por ello se deben evitar las posiciones más bajas de fondo, a no ser que como estrategia a largo plazo se incluyan métodos de protección activos efectivos con relación a su costo. Esto es importante tanto a escala regional como al nivel de explotación agrícola. Por ejemplo, a escala regional, los fondos de valle cercanos a los ríos son normalmente más fríos que las pendientes situadas más arriba. Estas zonas pueden identificarse a partir de mapas topográficos, recogiendo datos de temperatura, y localizando las áreas donde se forman primero las nieblas a nivel del suelo. Las zonas bajas tienen consistentemente las noches más frías, cuando el cielo está despejado y el viento es débil, durante todo el año. Por esto, las medidas de temperatura para identificar las zonas frías pueden realizarse en cualquier momento del año.

2.1.3.2 Drenaje del aire frío

Para controlar el flujo de aire alrededor de zonas agrícolas, a veces se utilizan los árboles, los arbustos, los terraplenes, las pilas de heno, y las verjas. El propio emplazamiento puede afectar el potencial de daño por helada. Un estudio cuidadoso de los mapas topográficos puede, a menudo, prevenir los problemas de daño por helada más importantes. También puede proporcionar información el uso de bombas de humo u otros dispositivos que generen humo para estudiar el flujo de aire frío durante la noche pendiente abajo. Estos estudios se deben realizar en noches con heladas de radiación características, pero no necesariamente cuando la temperatura está bajo cero. Una vez se conoce el patrón del drenaje de aire, entonces la correcta colocación de obstáculos para su desviación puede proporcionar un elevado grado de protección. Si ya existe un cultivo en una zona fría, hay varias prácticas de manejo que pueden ayudar a reducir el riesgo de daño por helada. Cualquier obstáculo que impida el drenaje de aire frío pendiente abajo desde un cultivo debe eliminarse. Estos obstáculos pueden ser los setos, las verjas, las balas de heno o la vegetación densa situada en la parte baja de la pendiente del campo. La nivelación de tierras a veces puede mejorar el drenaje de aire frío a través del cultivo y en consecuencia al aire frío que llega continua el paso a su través.

2.1.3.3 La selección de las plantas

Es importante escoger plantas más tolerantes a la congelación. Por ejemplo, los árboles frutales de hoja caduca y las viñas normalmente no sufren daño por helada en el tronco, las ramas o en las yemas dormidas, pero experimentan daños conforme se desarrollan las flores y los frutos. Seleccionar plantas de hoja caduca que tienen yemas de brotación tardía proporciona una buena protección ya que la probabilidad y el riesgo de daño por helada disminuye rápidamente en primavera. En cítricos, hay que seleccionar variedades más resistentes. Por ejemplo, los limoneros son menos tolerantes al daño por helada, seguido de las limas, los pomelos, los tangerinos y las naranjas, que son las más tolerantes. También se sabe que los patrones o porta-injertos de naranjo trifoliado mejora la tolerancia de los cítricos comparado con otros porta-injertos. Para los cultivos anuales y en

hilera, es importante determinar la fecha de plantación que minimiza el potencial para las temperaturas bajo cero. En algunos casos, los cultivos no se plantan directamente en el exterior sino que se plantan en ambientes protegidos y trasplantados al campo después de que el peligro de congelación ha pasado.

2.1.3.4 Cobertura con árboles

En el sur de California, los agricultores plantan cultivos intercalados de cítricos y de palmera datilera, en parte porque las palmeras datileras proporcionan algo de protección a los cítricos. Como los dátiles también son un producto comerciable, constituyen un método eficiente de proporcionar protección contra heladas sin experimentar pérdidas económicas relevantes. En Alabama, algunos agricultores inter-plantan pinos en las plantaciones de mandarina Satsuma y los pinos favorecen la radiación incidente de onda larga y proporcionan protección a los mandarinos. En Brasil se utilizan árboles de sombra para proteger los cafetales del daño por helada.

2.1.3.5 Gestión de nutrición de las plantas

Los árboles que no están sanos son más susceptibles al daño por heladas y la fertilización mejora la salud de las plantas. Los árboles que no están adecuadamente fertilizados, también tienden a perder sus hojas antes en otoño y la floración es más temprana en primavera, lo cual aumenta la susceptibilidad al daño por helada. Sin embargo, se desconoce la relación entre determinados nutrientes y el aumento de resistencia, y la literatura contiene muchas contradicciones e interpretaciones parciales. En general, la fertilización con nitrógeno y fósforo antes de una helada favorece el crecimiento y aumenta la susceptibilidad al daño por helada. Para favorecer el endurecimiento de las plantas, hay que evitar las aplicaciones de fertilizante nitrogenado al final del verano o al inicio del otoño. No obstante, el fósforo también es importante para la división celular y por ello es importante para recuperar los tejidos después de la congelación. El potasio tiene un efecto favorable en las plantas sobre la regulación hídrica y la fotosíntesis. Sin embargo, los

investigadores están divididos sobre los beneficios del potasio en la protección contra heladas.

2.1.3.6 El manejo de las plagas

La aplicación de aceites insecticidas a los cítricos se sabe que aumenta el daño por helada y la aplicación debería evitarse con anterioridad a la estación de heladas.

2.1.3.7 Una poda adecuada

La poda tardía está recomendada en las vides para retrasar el crecimiento y la floración. La doble poda es a menudo beneficiosa porque supone que todavía se dispone de madera para la producción tras una helada dañina. La poda, en primer lugar, de las ramas más bajas de las vides y volver a podar más tarde las ramas más altas es una buena práctica, ya que las ramas más bajas son más propensas al daño.

La poda de las vides para que el fruto esté más alto sobre el suelo proporciona protección, ya que, durante las noches de helada, las temperaturas aumentan normalmente con la altura. La poda a finales de otoño de los cítricos conduce a más actividad fisiológica durante la estación de heladas de invierno.

2.1.3.8 Cobertura de las plantas

Las plantas protegidas están más calientes que el cielo despejado y, en consecuencia, aumentan la radiación de onda larga descendente durante la noche, además de reducir las pérdidas de calor por convección hacia el aire. Normalmente se utilizan las cubiertas con paja y materiales sintéticos. Debido a los costos de mano de obra, este método se utiliza principalmente en pequeñas plantaciones de plantas bajas que no requieren de una estructura sólida. Algunas veces se dan problemas de enfermedades debido a una ventilación deficiente. Los plásticos de polipropileno tejido o 'spunbonded' se utilizan a veces para proteger cultivos de alto valor. El grado de protección varía de 1 °C a 5 °C,

dependiendo del grosor del plástico. El plástico blanco se utiliza a veces en viveros pero no para cultivos frutales y hortícolas. Se ha observado que la cobertura parcial de las vides, con polietileno negro, aumenta la temperatura del aire cerca del follaje hasta 1,5 °C. Sin embargo, el plástico claro es generalmente más efectivo, en la tabla 1.8 se muestran algunas características de las cubiertas más comunes.

TIPO DE CUBIERTA	PROTECCION	COMENTARIOS
Poliétileno transparente (con anillas o aros)	Razonable	Económico – Mano de obra intensiva
Poliétileno transparente (flotante)	Razonable	Acumulación de calor excesiva
Poliétileno con cortes (slitted)	Razonable	Permite que se escape el calor – difícil de instalar
Poliétileno perforado	Razonable	Acumulación de calor excesiva
Poliéster hilado "Spun bonded" (flotante)	Buena	Posible abrasivo – Coste elevado
Polipropileno hilado "Spun bonded" (flotante)	Buena	Coste elevado
Polipropileno "Extruded" (flotante)	Pobre	Económico – Se quebra fácilmente

FUENTE: de la publicación de divulgación de la Universidad de Georgia: Cold Weather and Horticultural Crops in Georgia: Effects and Protective Measures.

Tabla 2.1 Características de las cubiertas más comunes.

2.1.3.9 Evitar el laboreo del suelo

El trabajo del suelo crea espacios de aire en el suelo y debería evitarse durante los periodos propensos a las heladas. El aire es un pobre conductor del calor y tiene un calor específico bajo, por ello los suelos, con más espacios de aire y más grandes, tienden a transferir y a almacenar menos el calor. Si se labra un suelo, para mejorar la transferencia y el almacenamiento del calor, hay que compactarlo y regarlo.

2.1.3.10 El riego

Cuando los suelos están secos, hay más espacios de aire que inhiben la transferencia y el almacenamiento del calor. Además, en los años secos, la protección contra heladas se mejora humedeciendo los suelos secos. El objetivo es mantener el contenido de agua del suelo cercano a la capacidad de campo, que normalmente es el contenido de agua entre 1 y los 3 días que siguen a su humedecimiento. No es necesario humedecer el suelo en profundidad ya que la mayoría de las transferencias de calor diarias y el almacenamiento se produce en los 30 cm superiores. Humedecer el suelo lo hace más oscuro, y aumenta la absorción de la radiación solar. Sin embargo, cuando la superficie está húmeda, entonces también aumenta la evaporación y las pérdidas de energía por evaporación tienden a contrarrestar los beneficios de una mejor absorción de la radiación. Lo mejor es humedecer los suelos secos con antelación a la helada, de forma que el Sol pueda calentar el suelo.

2.1.3.11 Eliminación de las cubiertas de hierba

Para una protección pasiva de las heladas, es mejor eliminar toda la vegetación (cultivos de cobertura) de las plantaciones de frutales y de los viñedos. Eliminar los cultivos de cobertura favorecerá la absorción de la radiación por el suelo, lo cual mejora la transferencia y almacenamiento de energía. Se sabe que los cultivos de cobertura hospedan concentraciones más altas de bacterias activas nucleadoras de hielo (INA) que muchas plantaciones de frutales y viñedos, por ello la presencia de vegetación en el suelo de una plantación frutal y de un viñedo aumenta la concentración de bacterias INA sobre el cultivo y favorece el potencial de daño por helada.

2.1.3.12 Pintar los troncos y envolturas

La corteza de los árboles de hoja caduca, algunas veces, se separa cuando existen fluctuaciones grandes en la temperatura entre un día cálido y una noche helada. Pintar los troncos con una pintura blanca de látex diluida al 50% con agua a finales de otoño, cuando la temperatura del aire está por encima de 10 °C, reducirá este problema. La pintura blanca,

el aislamiento y otras envolturas se sabe que mejora la dureza contra el daño por las heladas en melocotoneros. La pintura o las envolturas disminuyen las altas temperaturas del cámbium a finales de invierno debido a la radiación durante el día, lo cual mejora su resistencia. Envolver los troncos de los árboles con aislantes (i.e. materiales que contienen espacios de aire que resisten la transferencia del calor) protegerá los árboles jóvenes del daño por heladas y de su posible muerte.

2.1.3.13 El control bacteriano

Para que ocurra la congelación, el proceso de formación de hielo se inicia principalmente por la presencia de bacterias INA. Mientras mayor sea la concentración de bacterias INA, más probable será la formación de hielo. Después de su formación, se propaga dentro de las plantas a través de oberturas en la superficie en los tejidos de las plantas. Normalmente, para matar las bacterias se utilizan pesticidas (compuestos a base de cobre) o se aplican bacterias inactivas en la nucleación de hielo (NINA) competitivas para competir con ellas y reducir las concentraciones de bacterias INA. Sin embargo, este método de protección contra heladas no se ha utilizado ampliamente.

2.1.4 Métodos de protección activa

Los métodos de protección activa incluyen las estufas, los ventiladores, los helicópteros, los aspersores, el riego de superficie y el aislamiento con espumas. Todos los métodos y combinaciones se implementan durante la noche de ocurrencia de heladas para mitigar los efectos de las temperaturas bajo cero. El costo de cada método varía dependiendo de la disponibilidad local y de los precios. Algunos métodos de protección contra heladas tienen más de un uso y los beneficios de otros usos necesitan descontarse del costo total para evaluar de forma más justa los beneficios en términos de la protección contra heladas.

2.1.4.1 Las estufas

Las estufas proporcionan calor suplementario para ayudar a remplazar las pérdidas de energía. Generalmente, las estufas o bien aumentan la temperatura de los objetos de metal (estufas con chimenea) o bien funcionan como fuegos abiertos (vea la figura 2.1). Si se suministra suficiente calor al volumen de cultivo de forma que se remplazan todas las pérdidas de energía, la temperatura no caerá a los niveles que provocan daños. Sin embargo, los sistemas son generalmente ineficientes (una gran proporción de la energía producida se pierde hacia el cielo), por ello es necesario un diseño y manejo apropiado. Si se diseña un sistema para utilizar más estufas y más pequeñas con un buen manejo, se puede mejorar la eficiencia hasta el nivel que permite proteger el cultivo en las condiciones de la mayoría de las heladas de radiación. Sin embargo, cuando no hay inversión o es muy pequeña y hay viento, las estufas puede que no proporcionen la protección adecuada.



Figura 2.1 Estufas utilizadas para la protección contra heladas.

2.1.4.2 Los ventiladores

Los ventiladores por si solos utilizan normalmente sólo de un 5% a un 10% del combustible consumido por un sistema de protección con estufas de petróleo. Sin embargo, la inversión inicial es alta. Los ventiladores, en general, tienen unos requerimientos de mano de obra y unos costos de funcionamiento más bajos que otros métodos; especialmente los ventiladores eléctricos.

La mayoría de ventiladores empujan el aire casi horizontalmente para mezclar el aire más caliente de la parte superior en una inversión de temperatura con el aire más frío cercano a la superficie. También, al nivel de micro escala, éstos rompen las capas límites sobre las superficies de las plantas, mejorando las transferencias de calor sensible desde el aire a las plantas. Sin embargo, antes de invertir en ventiladores, hay que estar seguro de que las inversiones entre 2 y 10 m de altura están por lo menos 1,5 °C o más en la mayoría de las noches de helada. Los ventiladores de combustión interna son más efectivos desde el punto de vista del costo, pero requieren más mano de obra. El ruido de los ventiladores es un problema grande para los agricultores con cultivos cerca de las poblaciones.

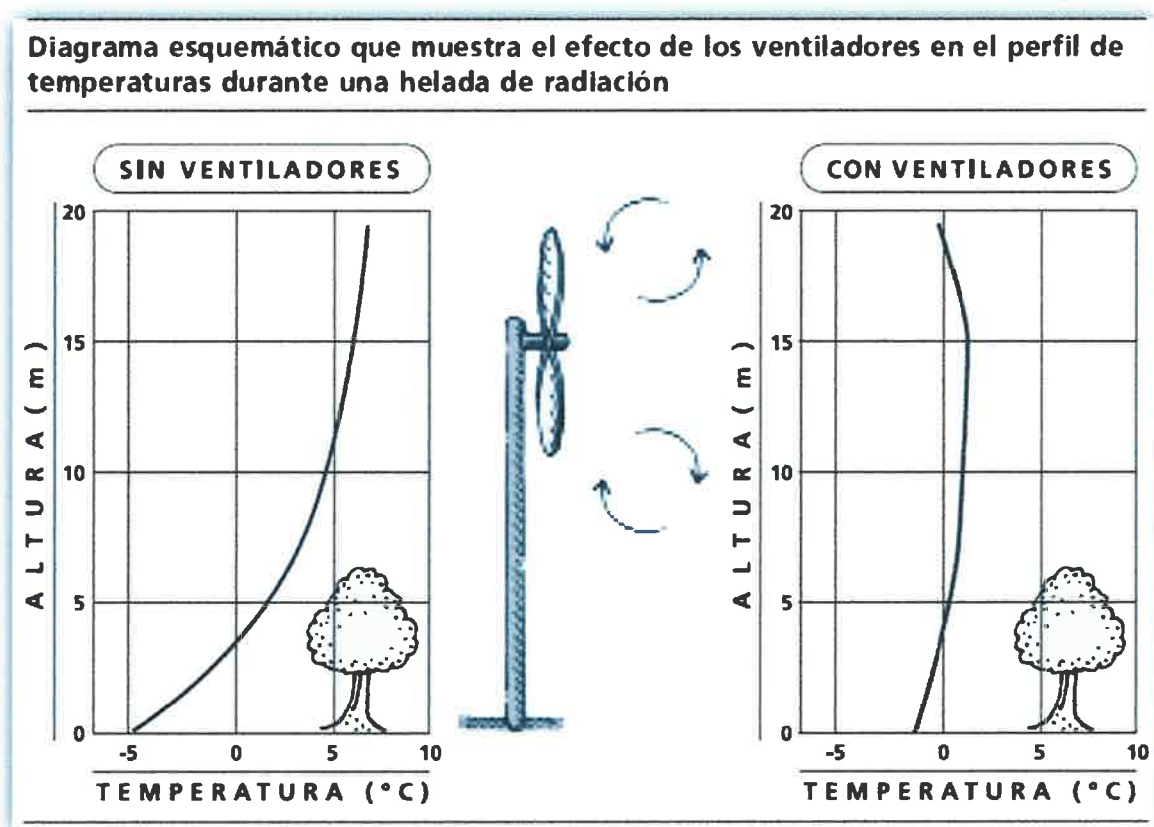


Figura 2.2 Diagrama del efecto de los ventiladores en el perfil de temperaturas.

2.1.4.2.1 El SIS

En Uruguay, el doctor Rafael Guarda es el titular de las patentes del SIS (SISfrostprotection, 2012), el Sistema SIS tiene como núcleo central de su operación al Sumidero Invertido Selectivo (SIS). El SIS es un equipo mecánico que, en las condiciones

atmosféricas correspondientes a las heladas de radiación, drena en forma selectiva el aire más frío que es aquel que más daño hace a los cultivos. Este drenaje evita la acumulación del aire frío sobre el cultivo a lo largo de la noche de helada. El SIS efectúa el drenaje del aire frío y lo lanza hacia arriba en forma de chorro vertical expulsándolo fuera de la zona de cultivo. El número de SIS que se emplea en cada aplicación, el modelo de SIS a utilizar y la localización precisa de los equipos sobre el terreno, son el resultado de la elaboración de un detallado Estudio Técnico que debe hacerse en cada caso. En este Estudio Técnico se recomiendan adicionalmente diversas medidas de mejoras pasivas, específicas para cada plantación.

Es el escenario de la atmósfera estratificada en donde opera el SIS. En dicho escenario el SIS efectúa una extracción selectiva de las capas de aire más densas (más frías). Ello se representa en la figura 2.3, donde se observa el dispositivo mecánico denominado SIS impulsando verticalmente hacia arriba un chorro de aire frío, mediante la incorporación de potencia mecánica al fluido empleando para ello una hélice de eje vertical y diámetro variable según el modelo de SIS. El chorro vertical creado en la descarga del SIS transporta al fluido que entró por la succión del aparato pero, simultáneamente va capturando fluido de los estratos horizontales que atraviesa. Esta captura de fluido externo (más caliente que el expulsado por el SIS) que el chorro efectúa, es muy importante y su efecto es ir incrementando la temperatura del chorro pues el aire que se incorpora al chorro proviene de estratos progresivamente más calientes debido a la estratificación de la atmósfera.

En la figura 2.3 se ilustra dicho fenómeno de captura, por parte del chorro del SIS, de aire más caliente que el expulsado por la descarga del aparato así como la dispersión del chorro en un estrato alto cuya temperatura es igual a la temperatura media que adquiere el chorro cuando la energía cinética que le proporciona el ventilador del SIS se transforma integralmente en energía potencial.

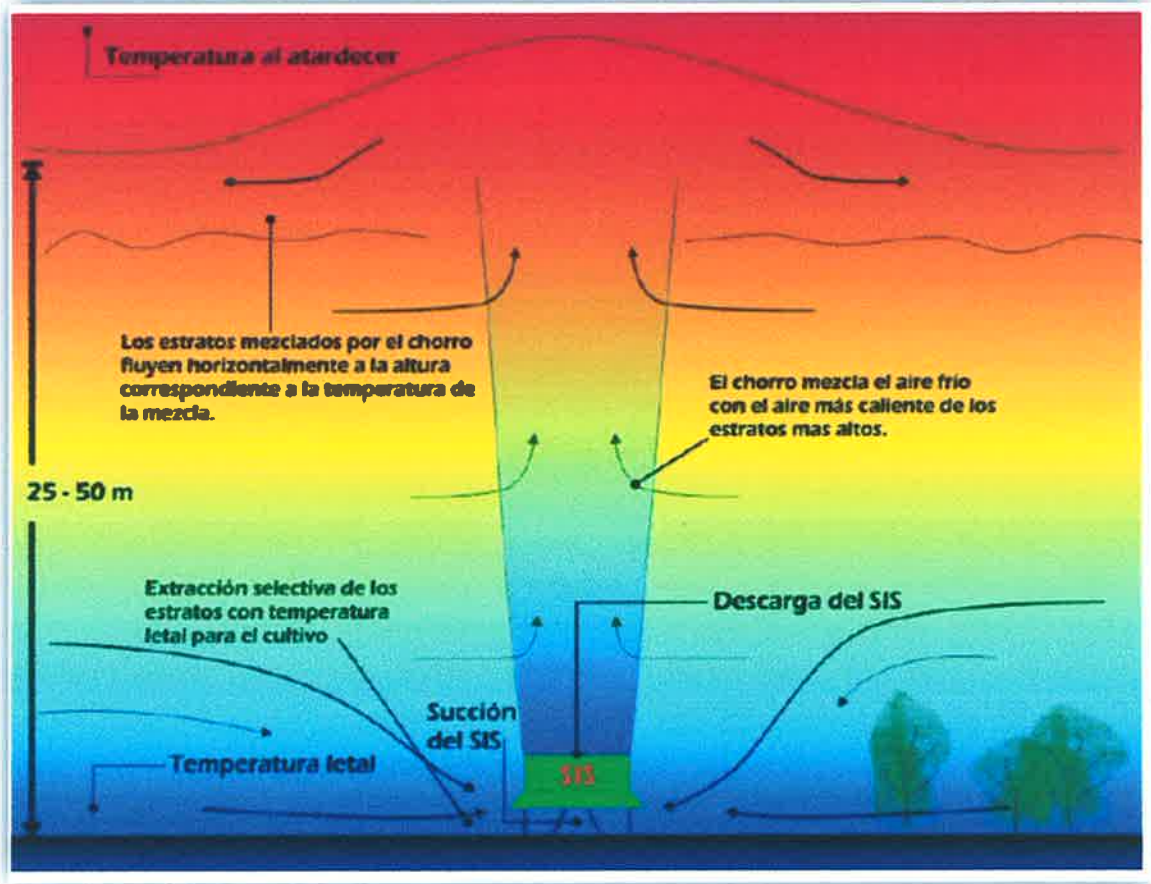


Figura 2.3 Funcionamiento del SIS.

El referido estrato alto donde ocurre el fenómeno de dispersión, suele localizarse entre 25 a 50m por encima de la descarga del SIS, dependiendo del tipo de SIS y de las características de la estratificación que presente la atmósfera. En la figura 2.4 se presenta el esquema de un SIS trabajando sobre terreno plano con una cortina perimetral que impide el flujo horizontal hacia el SIS de los estratos con temperatura letal localizados fuera del perímetro de la quinta.

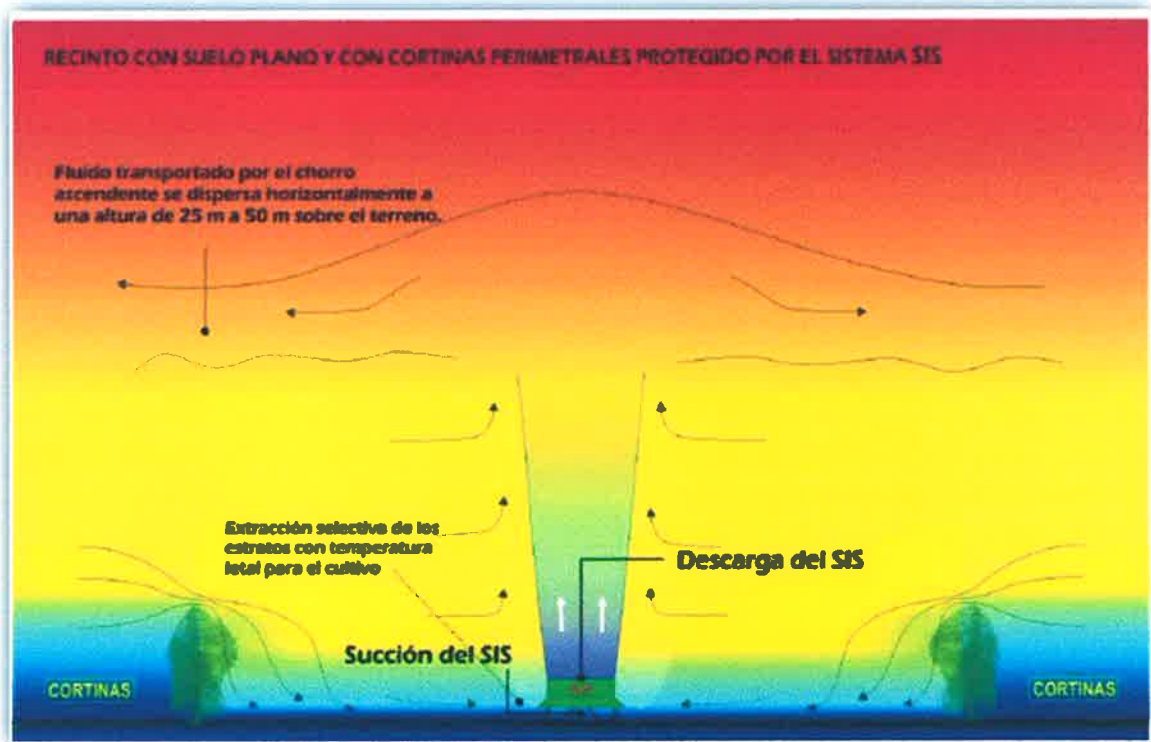


Figura 2.4 SIS trabajando sobre terreno plano con una cortina perimetral.

Se puede obtener en el interior de un terreno y a la altura del cultivo, un incremento de temperatura que dependerá de la intensidad del drenaje efectuado por los SIS y de la altura de la cortina perimetral. Como puede observarse en la figura 2.3, el proceso de drenaje que realizan los SIS no destruye la estratificación de la atmósfera sino que al extraer los estratos bajos (más densos y más fríos) produce un desplazamiento descendente de la estratificación de la atmósfera que sumerge ahora al cultivo en estratos más calientes. Con ello se obtiene la protección deseada con un empleo muy reducido de potencia mecánica (5 HP /ha) y una inversión del orden de 3000- 8000 dólares/ha dependiendo de los modelos de SIS empleados. En cuanto a la cortina perimetral ésta puede ser natural o de no haber cortina natural al instalarse los SIS, puede construirse una cortina perimetral artificial de baja altura y con materiales plásticos de reducido valor, cortina que se desechará al crecer la cortina vegetal permanente.

El estudio realizado a cada terreno concluye con una recomendación precisa del número y modelo de SIS necesarios y con la determinación de la altura mínima de la cortina perimetral. En el caso que la misma deba implementarse (en todo o en parte del perímetro) con una cortina artificial, el estudio incorpora un instructivo de construcción de la misma con una estimación del costo correspondiente. Asimismo en el estudio se recomiendan diversas medidas pasivas de control de heladas, específicas para cada plantación. En México, existe una unidad de SIS instalada en el estado de Michoacán para el cuidado y protección de los cultivos de Aguacate (SISfrostprotection, 2012).



Figura 2.5 SIS instalado en Michoacán

2.1.4.3 Los helicópteros

Los helicópteros mueven el aire caliente desde la parte superior de la inversión de temperatura hacia la superficie más fría, como se muestra en la figura 2.6. El área que cubre un solo helicóptero depende de su tamaño y peso y de las condiciones meteorológicas. Se estima que el área que cubre un único helicóptero varía entre 22 y 44 ha. Las

recomendaciones sobre la frecuencia de las pasadas varían entre 30 a 60 minutos, dependiendo de las condiciones meteorológicas. Si el tiempo entre las pasadas se alarga demasiado provoca que las plantas se enfrien y la agitación por el pase del helicóptero puede causar la nucleación heterogénea del hielo y provocar un daño grave. La nucleación heterogénea del hielo ocurre cuando el agua es súper enfriada (la temperatura bajo 0 °C) y algunas materias foráneas o la agitación inicia la formación del hielo. La altura óptima de vuelo se sitúa normalmente entre los 20 y los 30 m, y las velocidades de vuelo van de los 8 a los 40 km h-1. Los pilotos, con frecuencia, cargan los tanques vaporizadores de los helicópteros con agua para aumentar el peso y aumentar el empuje. Bajo condiciones de heladas severas con una inversión alta, un helicóptero puede volar sobre otro para favorecer la transferencia del calor hacia abajo.



Figura 2.6 inversión de temperatura.

2.1.4.4 Los aspersores

El consumo de energía de los aspersores es considerablemente más bajo que el utilizado para la protección de heladas con estufas, y por consiguiente, los costos de funcionamiento son más bajos. La necesidad de mano de obra también es inferior que en otros métodos, y es relativamente no contaminante. Las principales desventajas del uso de aspersores son el elevado costo de instalación y la gran cantidad de agua necesaria. En muchos casos una disponibilidad limitada de agua restringe el uso de los aspersores. En otros casos, el uso excesivo puede provocar problemas de encharcamiento lo cual puede causar problemas a las raíces así como impedir el laboreo y cualquier otro tipo de manejo. El lavado de nutrientes (principalmente nitrógeno) es un problema cuando se utilizan los

aspersores con frecuencia. El secreto de la protección con aspersores de tipo convencional que aplican el agua sobre las plantas es volver a aplicar el agua frecuentemente con el suficiente caudal para evitar que la temperatura del tejido de la planta baje demasiado entre los pulsos de agua.

2.1.4.5 El riego de superficie y las espumas

En este método, el agua se aplica al campo y su calor se libera en el aire al enfriarse. Sin embargo, la eficacia decrece con el enfriamiento del agua con el tiempo. La sumersión parcial o total de las plantas tolerantes es posible; sin embargo, las enfermedades y la asfixia de las raíces son algunas veces un problema. El método funciona mejor para árboles de crecimiento bajo y vides durante heladas de radiación. Los beneficios económicos que resultan de su uso son altos y el método se utiliza normalmente en muchos países debido al costo relativamente bajo del riego por inundación. Si el riego se realiza con anterioridad al evento de helada, la protección que puede alcanzarse es como mucho entre 3 y 4 °C.

La aplicación de aislantes a partir de espumas aumenta la temperatura mínima sobre la superficie de las hojas de cultivos bajos en crecimiento unos 10 °C más que en los cultivos sin proteger. Sin embargo, el método no ha sido ampliamente adoptado por los agricultores debido al costo de los materiales y de la mano de obra así como por el problema de cubrir áreas grandes en un periodo corto de tiempo debido a la poca precisión en la predicción de las heladas. Cuando se aplica, la espuma previene de las pérdidas de radiación desde las plantas y atrapa la energía conducida hacia arriba desde el suelo. La protección es mejor durante la primera noche y decrece con el tiempo ya que la espuma también bloquea la energía que calienta a las plantas y al suelo durante el día y se rompen con el tiempo.

2.2 Aspectos técnicos

A continuación se presentan algunos técnicos importantes empleados en el desarrollo de esta práctica industrial.

2.2.1 El microcontrolador

Un microcontrolador es un circuito integrado programable que contiene todos los componentes de un computador. Se emplea para el funcionamiento de una tarea determinada y, debido a su reducido tamaño, suele ir incorporado en el propio dispositivo al que gobierna, es en esencia un computador dedicado. En su memoria sólo reside un programa destinado a gobernar una aplicación determinada, y cuenta con los recursos suficientes para atender aplicaciones de cierta finalidad (Angulo, 2005).

2.2.2 El Bus I²C

El bus I²C (por sus siglas en Inglés *Inter Integrated Circuit Bus*) es un bus de comunicaciones de tipo serie desarrollado por la empresa Phillips, para el cual hay en la actualidad multitud de dispositivos que se pueden comunicar mediante este protocolo. El bus I²C consta de dos hilos, por los cuales se realiza una comunicación serie, bit a bit. Una línea llamada SCL (*Serial clock*) que es la señal de reloj que se utiliza para la sincronización de los datos. Y la línea SDA (*Serial data*) es la línea para la transferencia serie de los datos (Palacios *et al*, 2004) como se muestra en la siguiente figura.

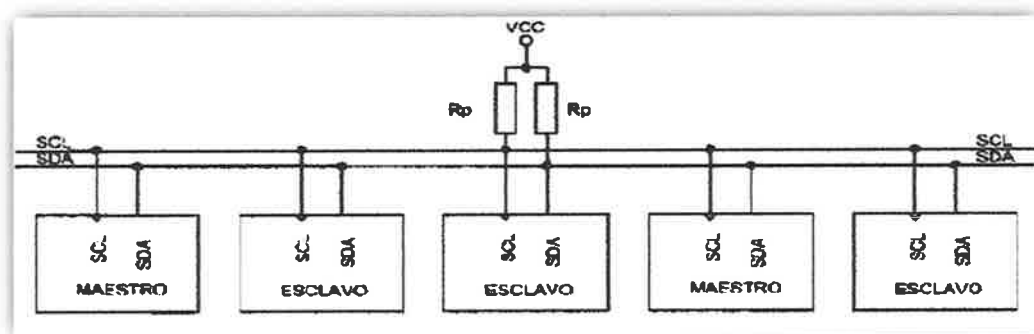


Figura 2.7 Conexión de dispositivos mediante el bus I²C.

2.2.2.1 CI DS1307 reloj calendario en bus I²C

El circuito integrado DS1307 es un reloj en tiempo real RTC (por sus siglas en inglés *Real Time Clock*) con líneas de conexión a un bus I²C. Este circuito integrado es un poderoso reloj y calendario de tiempo real, que cumple perfectamente con muchas de las necesidades normales en la adquisición y registro del tiempo. Sus características más destacadas son:

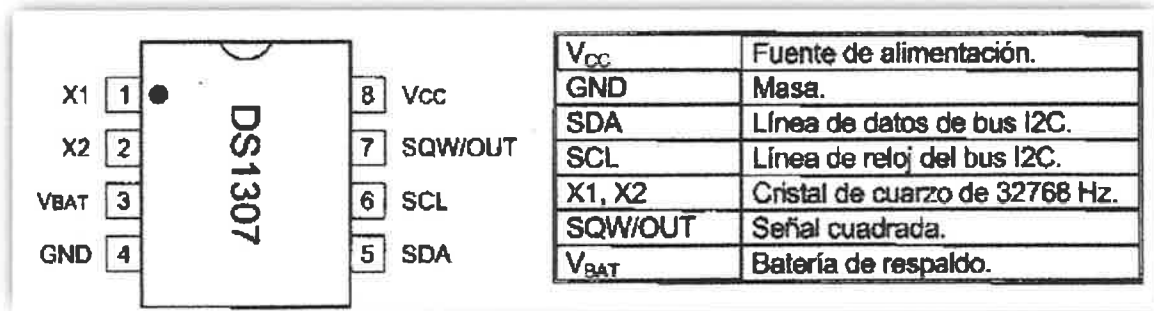


Figura 2.8 Distribución de pines del CI DS1307.

Es fabricado por *Dallas semiconductors* en un encapsulado de 8 pines, este circuito integrado tiene las siguientes características que lo hacen muy atractivo para aplicaciones donde es necesario conocer la fecha y la hora:

- Cuenta los segundos, los minutos, las horas los días de la semana, los días del mes, los meses y los años, válido hasta el 2100.
- Almacena los datos en BCD para que se pueda trabajar directamente con ellos.
- Cuenta con un pin de salida que proporciona una onda cuadrada programable.
- Tiene una circuitería interna de “respaldo” para alimentación en caso de fallo de la alimentación principal, por lo tanto, es capaz de mantener el tiempo y la fecha actualizados aun cuando el sistema esté apagado.
- Su alimentación es de 4.5 a 5.5v.
- El último día del mes es automáticamente ajustado a 28, 29, 30 o 31 días según corresponda, tiene en cuenta los años bisiestos.
- Puede trabajar en formato europeo de 24 horas o el americano de 12 horas con un bit indicador de AM/PM

CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO

- El DS1307 tiene su propio cristal de cuarzo de 32.768 Khz para lograr tiempos exactos y no depender del microcontrolador.
- Si se utiliza una batería de litio de al menos 49mAh se garantiza una conservación de la información para más de 10 años.

En las siguientes figuras se muestra el mapa de direcciones de la memoria RAM del DS1307.

00h	Segundos
01h	Minutos
02h	Horas
03h	Día
04h	Fecha
05h	Mes
06h	Año
07h	Control
08h 3Fh	Ram de 56x8

Tabla 2.2 Mapa de la memoria RAM del CI DS1307.

Esta figura muestra como se encuentran los datos organizados en la memoria RAM del reloj calendario.

	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	
00h	CH	Decenas de segundo			Unidades de segundo				00-59
01h	x	Decenas de minuto			Unidades de minuto				00-59
02h	x	12/24	10 Hr	10 Hr	Unidades de hora				01-12
			A/P						00-23
03h	x	x	x	x	x	Día		1-7	
04h	x	x	Decenas de fecha		Unidades de fecha				01-31
05h	x	x	x	Decenas de mes	Unidades de mes				01-12

06h	Decenas de año				Unidades de año				00-99
07h	salida	x	x	SQWE	x	x	RS1	RS0	

Tabla 2.3 Organización de datos de fecha y hora en CI DS1307.

El bit 7 del registro 00h es el bit de puesta en marcha *Clock Halt* (CH), si CH=1, impide el funcionamiento del reloj, si CH=0, pone en marcha el reloj. EL Registro de la posición 07h es el registro de control, donde se describe de la siguiente manera:

Los bits 0 y 1, “RS”, fijan la frecuencia de la onda cuadrada cuando está habilitada de acuerdo con la siguiente tabla.

RS1	RS0	FRECUENCIA
0	0	1 Hz
0	1	4 096 Hz
1	0	8 192 Hz
1	1	32 768 Hz

Tabla 2.4 Tabla de verdad de frecuencia de salida de CI DS1307.

Bit 4, SQWE, habilita la onda cuadrada si vale 1. El bit 7, OUT, si vale 1 el pin SQW/OUT está a 1 cuando la onda cuadrada esta deshabilitada.

2.2.2.2 CI PCF8591, ADC y DAC en bus I²C

El circuito integrado es un convertidor Digital-Analógico DAC (convertidor de digital a analógico) de 8 bits, o puede funcionar como un convertidor Analógico-Digital de 8 bits, con 4 entradas analógicas.

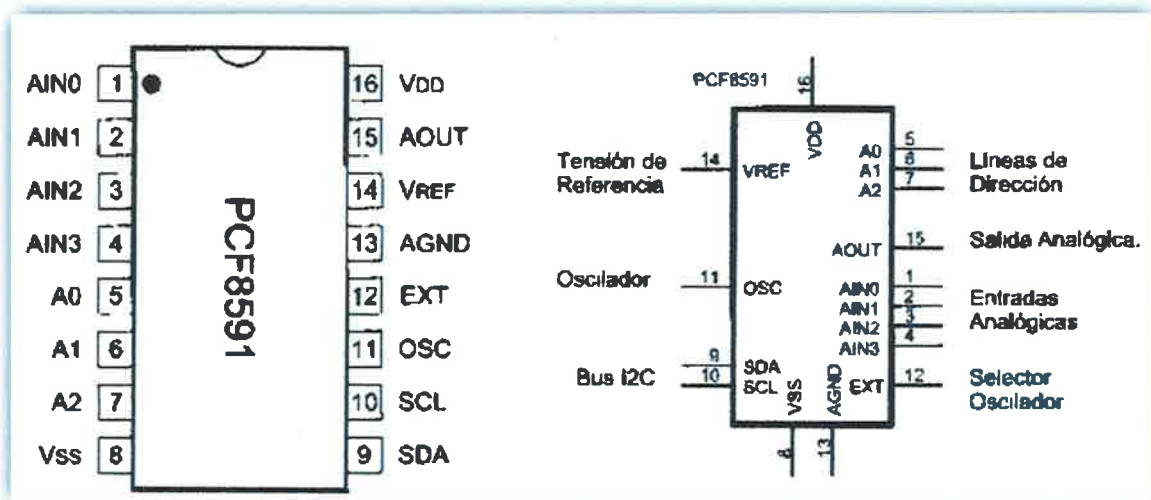


Figura 2.9 Distribución de pines de CI PCF8591.

Este circuito es fabricado por *Phillips Semiconductors* en encapsulado de 16 pines con las funciones de cada pin mostradas a continuación:

AIN0...AIN3	Entradas analógicas
SCL	Línea de reloj del bus I ² C
SDA	Línea de datos del bus I ² C
A0, A1 Y A2	Entradas de dirección
VDD y VSS	Alimentación entre 2.5 y 6v
OSC	Entrada o salida del oscilador
EXT	Selector de oscilador externo o interno
AGND	Masa analógica
V _{REF}	Entrada de tensión de referencia
AOUT	Salida analógica

Tabla 2.5 Relación de función de pines del CI PCF8591.

2.2.2.3 CI 24LC256, memoria EEPROM en bus I²C

El circuito integrado 24LC256 es una memoria EEPROM muy popular de tipo serie que permite almacenar hasta 32kbytes, su patillaje se muestra en la siguiente figura:

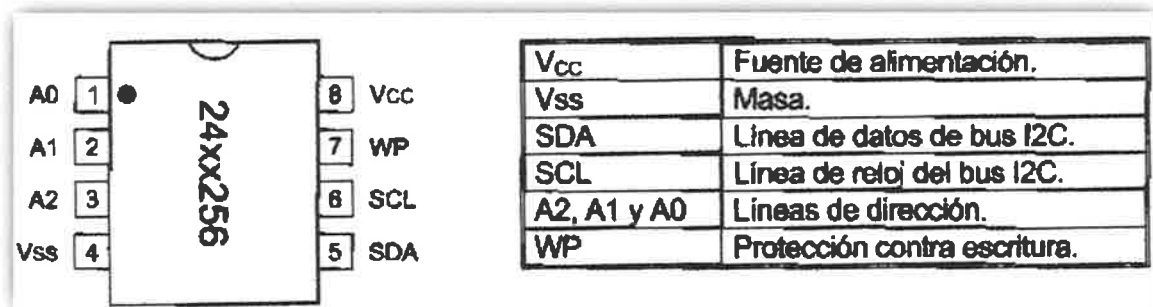


Figura 2.10 Distribución de pines del CI 24LC256.

Este circuito cuenta con las siguientes características:

- Es una memoria EEPROM serie con interface I²C fabricada por Microchip, en un encapsulado de 8 pines.
- Tiene una capacidad de 256kbits o 32kbytes, es decir, está estructurada en 32k posiciones de memoria con una longitud de 8 bits cada una.
- Los 32kbytes están organizados en 128 bloques de 256 bytes cada uno.
- Se puede alimentar con un voltaje entre 2.5 y 5v
- El fabricante garantiza 1 millón de operaciones de borrado y escritura.
- La retención de los datos está garantizada por 200 años.
- Cuenta con 3 líneas de dirección para poder conectar varias memorias en el mismo sistema electrónico, variando la dirección entre cada memoria.

La siguiente figura muestra como se encuentra paginada la memoria de datos:

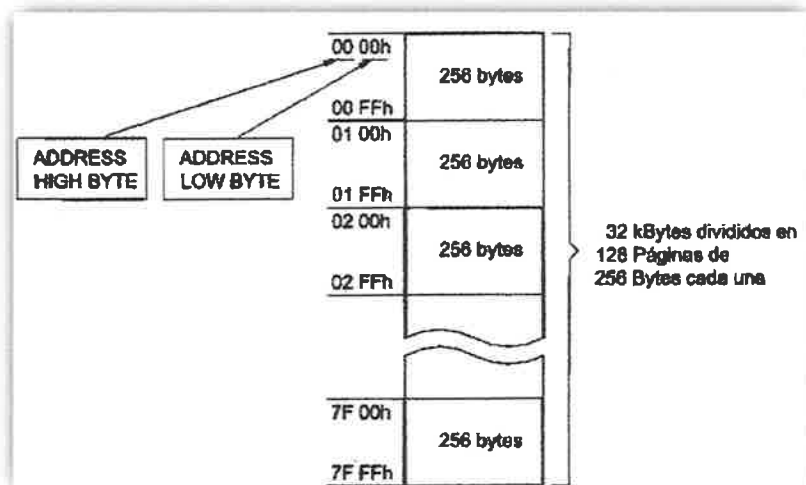


Figura 2.11 Paginación de la memoria del CI 24LC256.

2.2.3 Comunicación serie asíncrona

Los microcontroladores de Microchip de gama media y mejorada contienen un módulo MSSP con dos puertas para la comunicación serie asíncrona o sea, con señal de reloj. Además, también disponen de un módulo USART capaz de soportar la comunicación serie síncrona y asíncrona. El USART puede funcionar como un sistema de comunicación full dúplex o bidireccional asíncrono, adaptándose a multitud de periféricos y dispositivos que transfieren información de esta forma.

2.2.4 Sensor de temperatura LM35

La medida de temperatura constituye una de las mediciones más comunes y más importantes que se efectúan en los procesos industriales. Las limitaciones del sistema de medida quedan definidas en cada tipo de aplicación por la precisión, por la velocidad de captación de la temperatura, por la distancia del elemento de medida y el receptor.

En un termotransistor el voltaje en la unión de la base y el emisor depende de la temperatura y sirve como medida de la misma. Un método común es usar dos transistores

con corrientes de colector diferentes y determinar la diferencia de sus voltajes base-emisor, lo cual es directamente proporcional a la temperatura en escala Kelvin. Estos transistores se combinan con otros componentes de un circuito en un solo chip y de esta manera se obtiene un sensor de temperatura, así como el acondicionador de señal respectivo, por ejemplo el LM35, este sensor se puede usar en un rango de -40°C a 110°C y produce una salida de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ (Bolton,2001).

El LM35 es un sensor de precisión de temperatura, el cual tiene una salida lineal, no requiere una calibración externa, y puede llegar a monitorear hasta de -55°C a 150°C , siendo un sensor de bajo costo.

2.2.5 Memorias EEPROM

En este tipo de memorias la información se puede borrar y volver a grabar, tiene la característica de ser borrable y escribible eléctricamente y su nombre proviene de las siglas en inglés *Electrical Erasable Programmable Read Only Memory*. Su principal ventaja es que las palabras almacenadas en memoria se pueden borrar de forma individual, para borrar la información no se requiere luz ultravioleta. No requieren un programador especial, para reescribir no se necesita hacer un borrado previo. Actualmente se pueden reescribir aproximadamente 1 millón de veces sin que se observen problemas para almacenar la información, puede almacenar información hasta por diez años. El único inconveniente es que su tiempo para almacenar información es de aproximadamente 5ms.

2.2.6 Comunicación USB mediante PIC18F2550

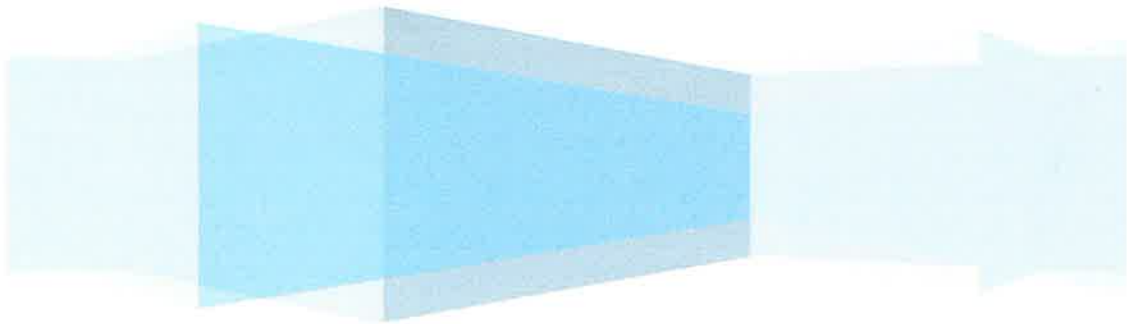
El PIC18F2550 contiene un USB Serial Interface Engine (SIE) que proporciona comunicaciones rápidas entre un host USB y el microcontrolador. El SIE puede ser interfaseado directamente al USB (utilizando un transceiver interno) o a través de un transceiver externo. Además cuenta con un regulador de 3.3 volts incorporado para utilizar el transceiver interno en aplicaciones de 5 Volts.

Se mejoraron algunas características del hardware para aumentar su performance, como una memoria especial compartida entre el SIE y el microcontrolador y un puerto de streaming para permitir transferencias ininterrumpidas de grandes volúmenes de datos a buffers externos. La interfaz USB es compatible con la versión 2.0 y permite funcionar en alta (12 Mbps) y en baja (1.5 Mbps) velocidad. Se puede destacar que soporta los 4 tipos de transferencias descritas en el estándar, pudiéndose definir hasta 32 end-points o hasta 16 casos bidireccionales. Además cuenta con la posibilidad de utilizar ping-pong buffering. El ping pong buffering permite utilizar 2 buffers por end-point, uno para las transferencias pares y otro para las transferencias impares, aumentando así el throughput de la comunicación. El transceiver interno cuenta con la posibilidad de utilizar resistencias pull-up programables por software en los pines D+ y D-, de esta forma se puede conectar y desconectar por software al bus. Esta característica lo hace interesante para permitir la re-enumeración del dispositivo por software y da la posibilidad de programar un bootloader que cargue un programa a ejecutar a través de USB, y luego de cargado se re-enumere como el dispositivo propiamente a utilizar. El módulo USB puede generar múltiples condiciones de interrupción. Para manejar todas las fuentes de interrupción, el módulo es provisto de su propia lógica, de estructura similar al del resto de las interrupciones del microcontrolador.

El dispositivo USB puede obtener la energía de tres formas: sólo del bus, self-powered o dual power con self-power dominante. Una ruta alternativa para el manejo de datos es utilizar el puerto de Streaming (SPP). De esta forma permite posibilidades de diseño en donde el microcontrolador actúa como un gestor de datos, permitiendo al SPP pasar grandes bloques de datos sin que el microcontrolador este procesándolo. Por ejemplo, en un sistema de adquisición de datos, donde los datos son enviados mediante streaming de un buffer FIFO externo a la PC a través de USB (Aguirre *et al*, 2007).

CAPÍTULO 3

DISEÑO



3.1 Objetivos del diseño

El presente capítulo contiene información respecto a los criterios tomados para la realización del diseño del sistema electrónico basado en un microcontrolador para controlar el encendido y apagado del sistema de extracción de heladas. Para poder diseñar el sistema, se va resolviendo cada etapa mencionada en el planteamiento del problema, el primer objetivo es seleccionar y programar el microcontrolador para realizar las tareas deseadas cumpliendo con las funciones de control de temperatura, control de encendido y apagado configurable y el desarrollo de un historial de funcionamiento del equipo. Posteriormente el siguiente objetivo será simular el sistema electrónico con el fin de validar lo programado, se realiza el armado del sistema en una tablilla de pruebas y finalmente se realiza el diseño y desarrollo de la tarjeta de control para poder realizar pruebas finales.

3.2 Metodología

La metodología de esta investigación se realiza siguiendo las recomendaciones de las referencias consultadas sobre microcontroladores para poder asegurar un buen funcionamiento del sistema.

Las etapas de la metodología a seguir son: etapa 1 que se refiere a la investigación preliminar, en esta etapa, se estudia lo relacionado al tema de investigación, y se presenta lo más importante a considerar en el diseño. La etapa 2, el análisis del sistema y segmentación del proyecto, en esta etapa se analizará los requerimientos del proyecto, y se decidirá cómo se estructurará el trabajo. En la etapa 3, el diseño y simulación del sistema electrónico para el control de encendido y apagado, esta etapa comprende todo el diseño del sistema electrónico, la etapa 4 comprende el diseño y simulación del sistema electrónico para la extracción de datos. La etapa 5 comprende la interfaz gráfica para la interpretación de los datos. La etapa 6 comprende el armado en tablilla de pruebas para corroborar y depurar el programa. La etapa 7 comprende el diseño de los PCB's y el maquinado de los mismos, y la etapa 8 que comprende las pruebas y los resultados obtenidos.

3.2.1 Investigación preliminar

A través de la investigación preliminar se obtuvo la siguiente información acerca de los sistemas para extracción de heladas y de los dispositivos secundarios que pueden conectarse con los microcontroladores.

Con respecto a los sistemas de extracción de heladas de tipo sumidero invertido selectivo: su encendido y apagado está en función de la temperatura, su localización no está definida de manera uniforme, depende de un estudio muy concreto y se apoyan de métodos pasivos para obtener mejores resultados.

Con respecto a los dispositivos periféricos de los microcontroladores PIC de microchip: mediante el bus-I²C se pueden conectar conversores digitales-analógicos, circuitos integrados con función de reloj calendario en tiempo real y memorias de tipo EEPROM para el almacenamiento de datos. Los microcontroladores PIC18F2550 y PIC18F4550 cuentan con un módulo USB para la conexión con otros periféricos y con la computadora.

Con respecto al sensor de temperatura, el sensor LM35 es de precisión, el cual tiene una salida lineal, no requiere una calibración externa, y puede llegar a monitorear hasta de -55°C a 150 °C, siendo un sensor de bajo costo.

3.2.2 Análisis del sistema y segmentación del proyecto

De acuerdo con las necesidades del sistema y debido a que se requiere que se almacene la información del estado del equipo, se propone la fragmentación del proyecto en donde un sistema electrónico controla el encendido y apagado del extractor, y almacena la información; posteriormente se extraen los datos del equipo mediante un medio de almacenamiento de datos (el cual puede ser comercial, o desarrollado), y por último una interfaz para poder visualizar los datos, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 3.1 Fragmentación del proyecto.

El diagrama de bloques del sistema a desarrollar es el mostrado en la figura 3.2, en donde se pueden apreciar los elementos principales que se requieren para el desarrollo del proyecto.

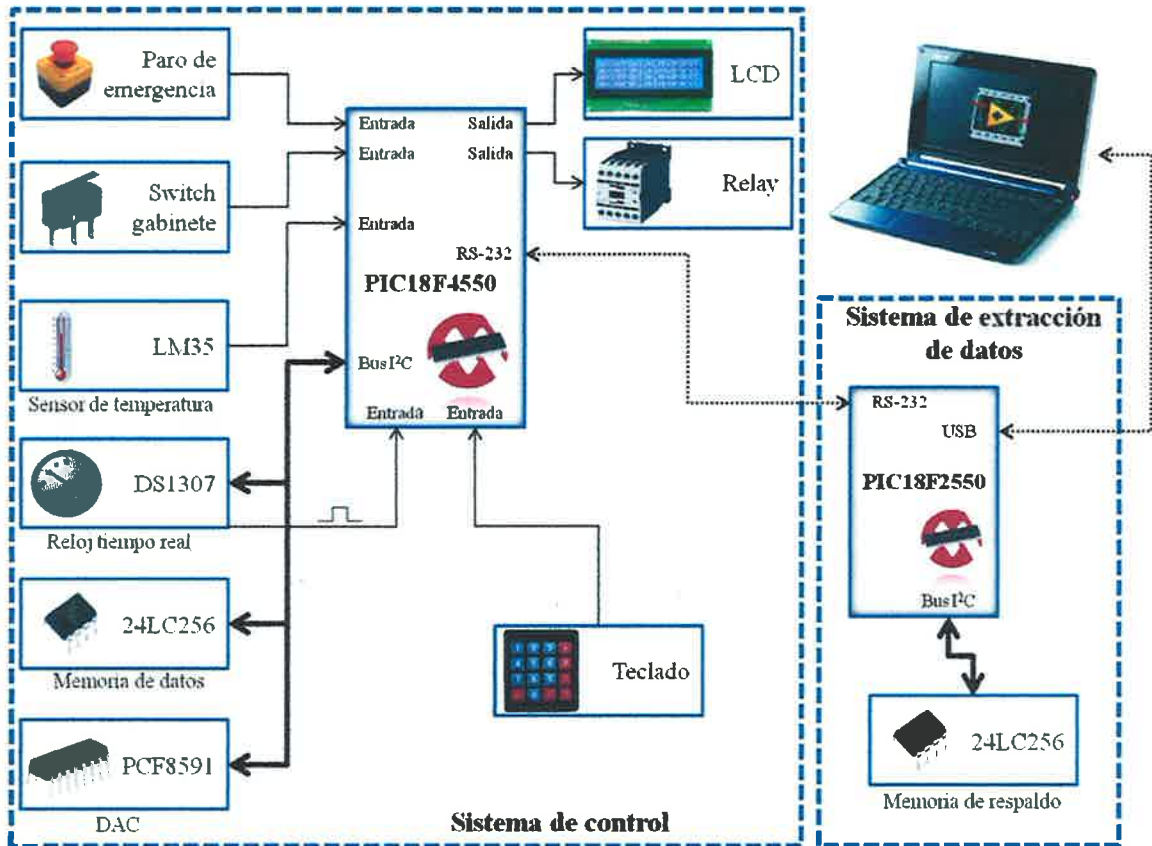


Figura 3.2 Diagrama de bloques del proyecto completo

3.2.3 Diseño y simulación del sistema electrónico para el control del encendido y apagado mediante la temperatura

El sistema electrónico se desarrolla en un microcontrolador PIC18F4550, el cual cumple con los elementos necesarios para el desarrollo de la aplicación, ya que este microcontrolador cuenta con entradas analógicas, interrupciones por eventos en pines, temporizadores/contadores de 8 y 16 bits, y módulo de comunicación serial, además de un módulo especializado para la comunicación por bus I²C. El sistema electrónico encargado de controlar la extracción de heladas debe contar con las siguientes funciones:

- 1 Código de acceso.
- 2 Configuración de fecha y hora.
- 3 Configuración de la salida.
- 4 Lectura de la temperatura.
- 5 Almacenamiento de datos.
- 6 Otros aspectos necesarios.

3.2.3.1 Código de acceso

El código de acceso, es la función del código encargada de permitir o negar el acceso al programa para poder realizar modificaciones en el funcionamiento, este código es necesario para asegurar que no se corre el riesgo de que el equipo tenga un mal funcionamiento debido al acceso del programa por personas no calificadas para su operación. La siguiente figura muestra la conexión del teclado matricial de 4x4, y de la pantalla LCD de 20x4 para realizar la interfaz con el usuario.

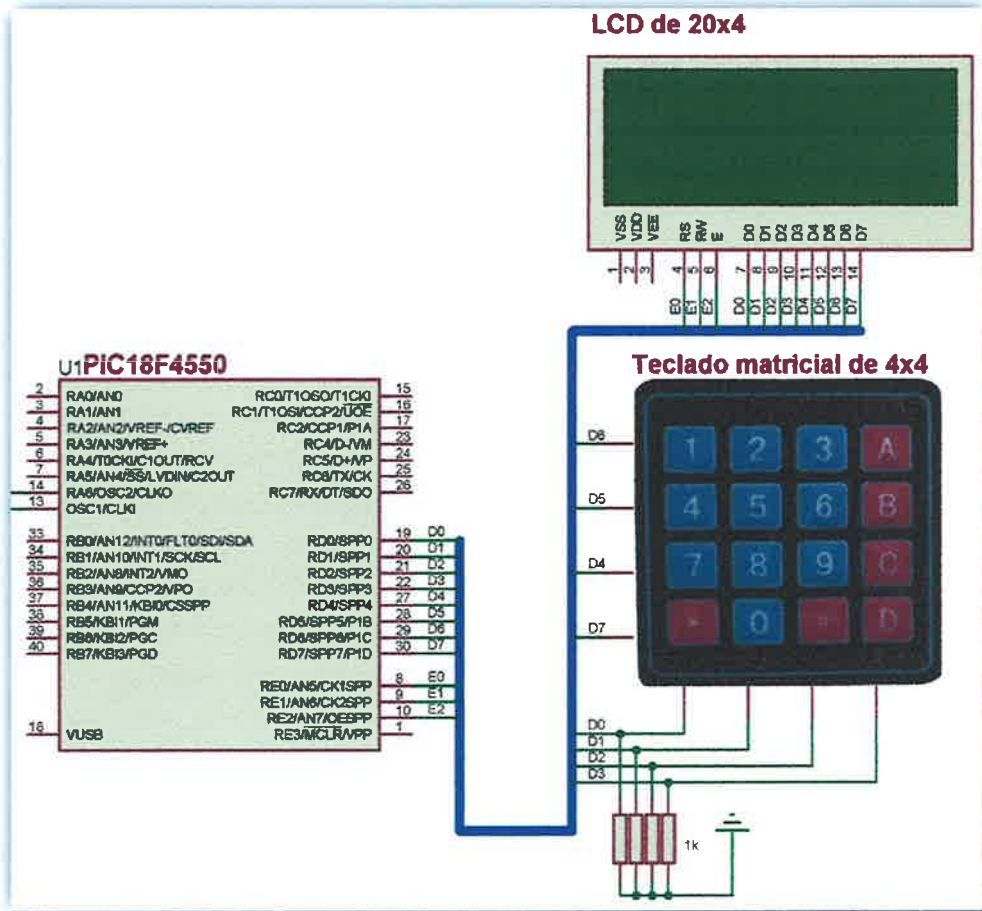


Figura 3.3 Conexión del teclado matricial de 4x4 y de la pantalla LCD de 20x4.

El diagrama de flujo del código de acceso es el siguiente:

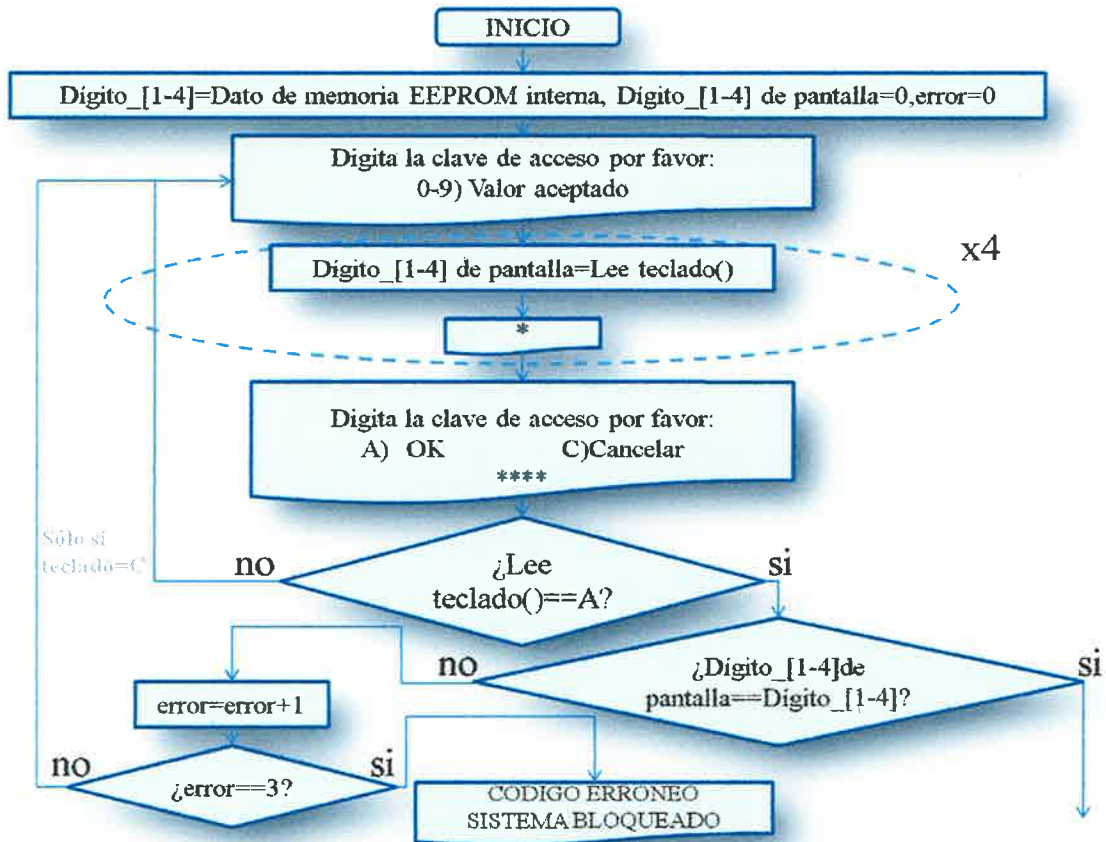


Figura 3.4 Diagrama de flujo de código de acceso.

La simulación del código de acceso se realizó en el software Proteus de labcenter Electronics, las imágenes de la simulación se muestran en seguida:

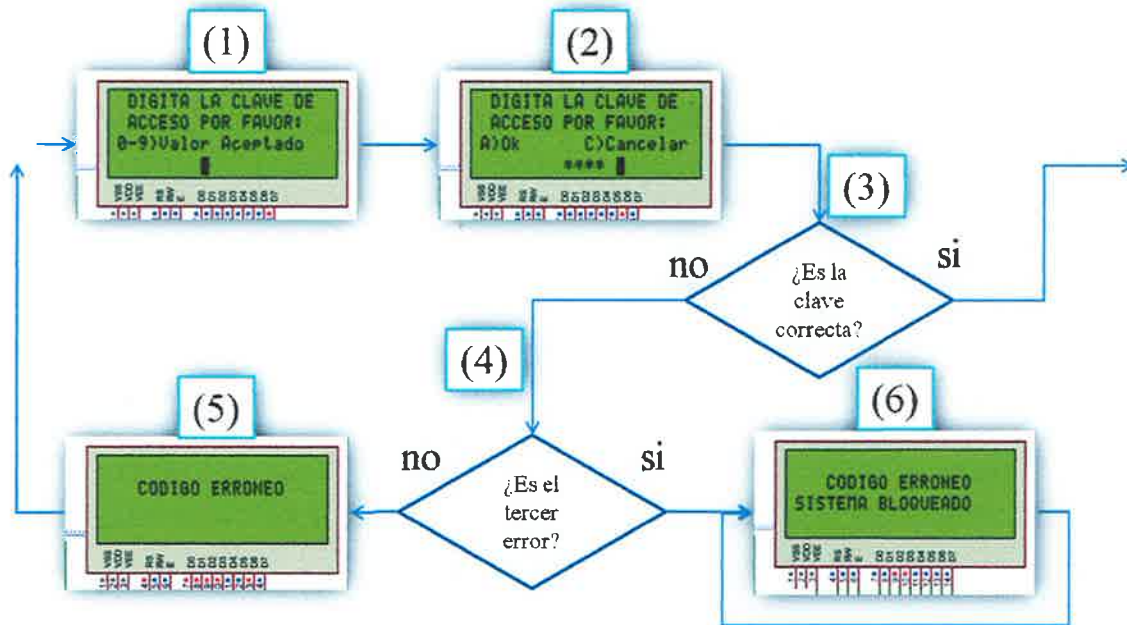


Figura 3.5 Diagrama de código de acceso mostrado en pantallas.

Como se muestra en la figura 3.5, en el paso 1 se muestra la pantalla que pide al usuario ingresar la clave de acceso; en el paso 2, una vez que el usuario digita la clave de 4 dígitos se presiona al letra A del teclado y en ese momento el programa verifica si la clave ingresada es la correcta (paso 3), si lo es se sigue a la siguiente tarea del programa, si no es la clave correcta, el programa verifica si es el tercer intento de acceder al equipo en funcionamiento (paso 4), si aún no se llevan 3 errores, el programa muestra en la pantalla LCD el mensaje de “CODIGO ERRONEO”, (paso 5) con lo cual se regresa al paso 1, pero, en caso de ser el tercer intento ingresando un código erróneo, el programa muestra el mensaje de “CODIGO ERRONEO, SISTEMA BLOQUEADO” y queda en un bucle infinito para que no se pueda acceder al sistema.

3.2.3.2 Configuración de fecha y hora

Para la fecha y hora se utiliza el circuito integrado DS1307, el cual es un reloj en tiempo real RTC con líneas de conexión al bus I²C del microcontrolador. Este circuito integrado es un poderoso reloj y calendario de tiempo real, que cumple perfectamente con muchas de las necesidades normales en la adquisición y registro del tiempo. En la figura

3.6 se muestra la conexión del circuito DS1307, donde se realiza la conexión de las resistencias de 4.7k para el bus I²C, además se coloca la batería de 3v para el respaldo de la información.

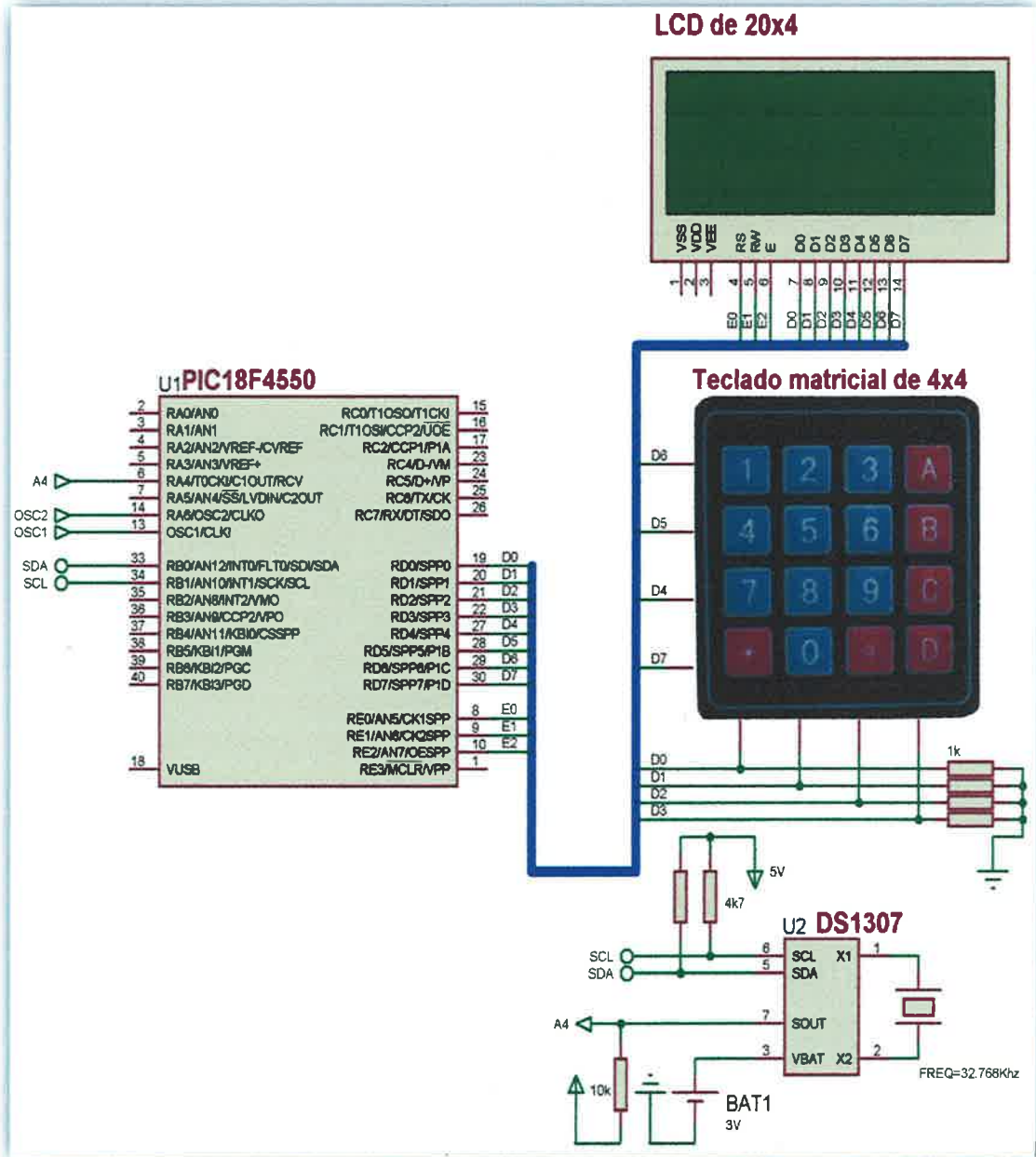


Figura 3.6 Conexión del CI DS1307 al PIC18F4550.

El diagrama de flujo para la configuración de la fecha y la hora es el siguiente:

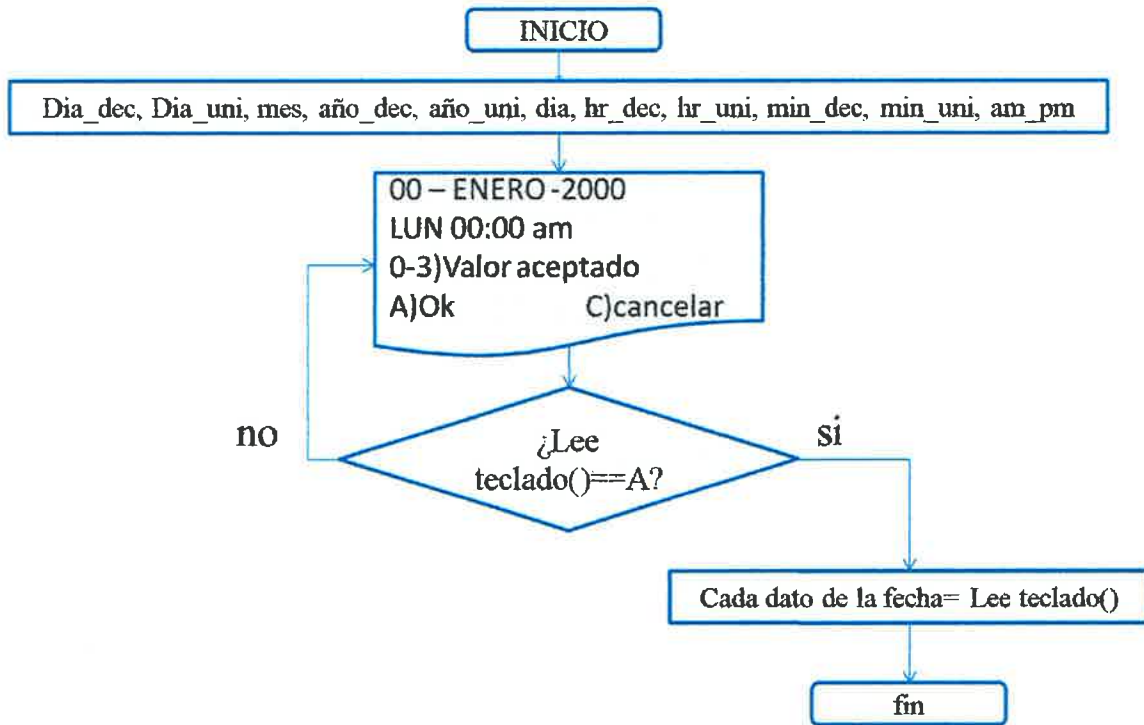


Figura 3.7 Diagrama de flujo de fecha y hora.

En la figura 3.7 se muestra en el inciso 1 la pantalla inicial que el usuario se encuentra al entrar a la configuración de la fecha y hora; y en el inciso 2 se muestra un ejemplo de cómo queda la pantalla una vez configurada la fecha y hora.



Figura 3.8 Diagrama de fecha y hora mediante pantallas.

3.2.3.3 Configuración de la salida

Para la configuración de la salida se utilizaron dos valores de temperatura, una temperatura de encendido y una temperatura de apagado, y el programa se comportará de acuerdo con la siguiente figura:

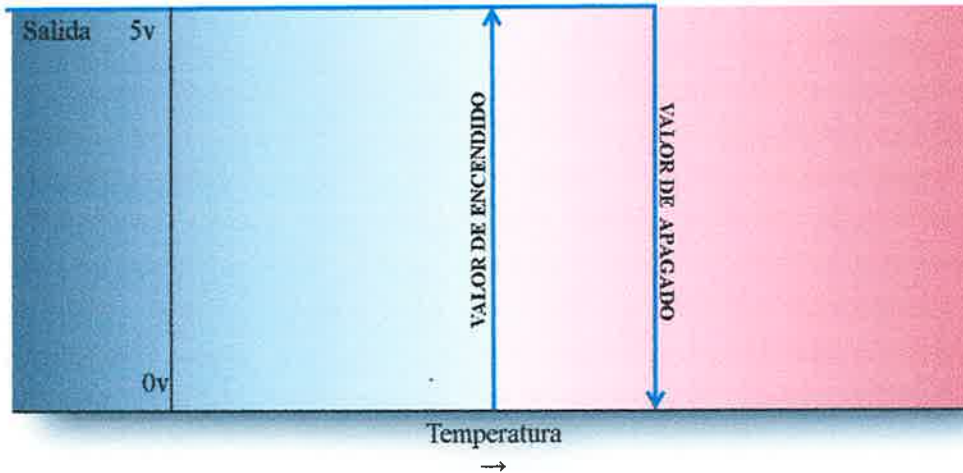


Figura 3.9 Encendido y apagado acorde a la temperatura.

El diagrama de flujo para la configuración es el siguiente:

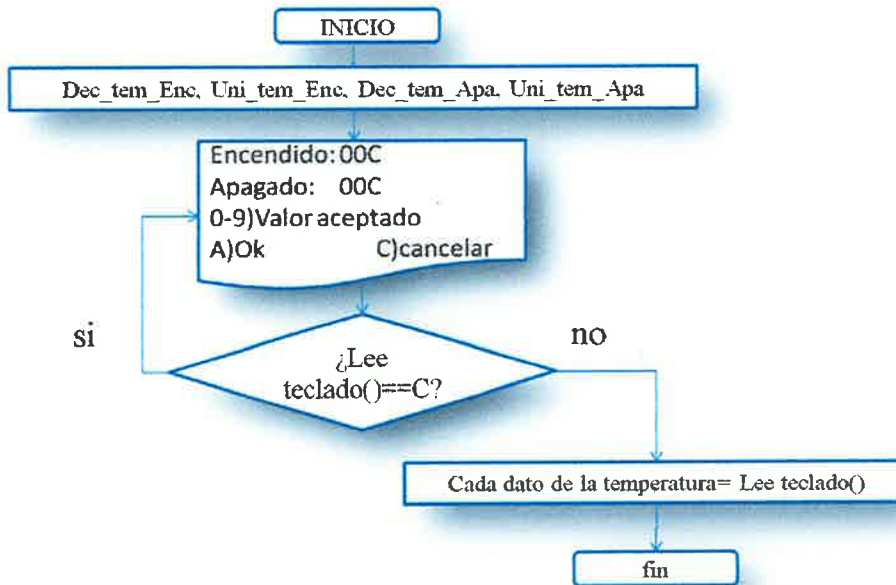


Figura 3.10 Diagrama de flujo de configuración de salida.

Las imágenes de la simulación se muestran en la figura 3.11, donde para el inciso 1 se muestra la pantalla antes de ser configurada, y en el inciso 2 se muestra como quedaría la pantalla una vez configurada.

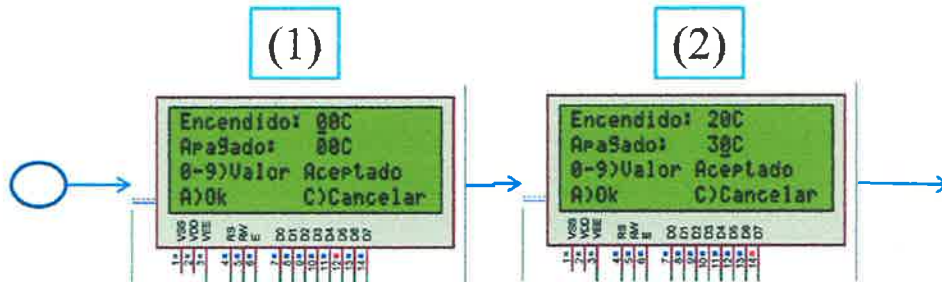


Figura 3.11 Diagrama de configuración de salida mediante pantallas.

3.2.3.4 Lectura de la temperatura

Para la lectura de la temperatura se utiliza el sensor LM35 debido a las características que se presentan en el capítulo 2, pero, para asegurar un correcto funcionamiento, y debido a que la señal es muestreada cada 20 minutos, se implementa un filtro activo pasa bajas de primer orden para una frecuencia de corte “fc” de 15 Hz. La figura 3.12 representa la conexión realizada.

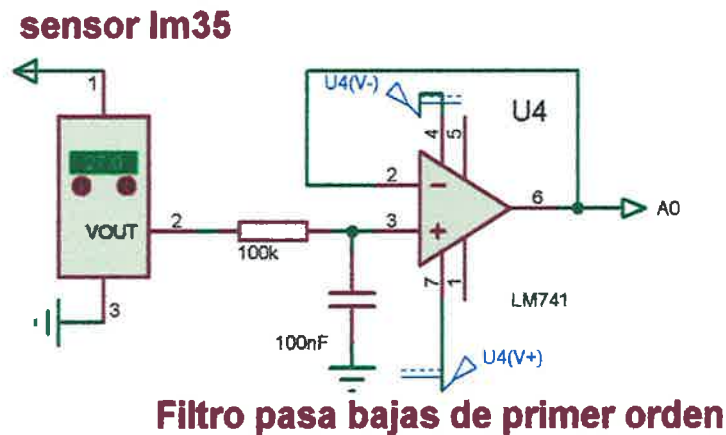


Figura 3.12 Filtro paso bajo de primer orden.

De acuerdo con la fórmula $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$, si se propone un capacitor de 0.1 microfaradios, y una frecuencia de corte de 15 Hz, entonces:

$$R = \frac{1}{2\pi FcC} = \frac{1}{(2\pi)(15Hz)(0.1 \times 10^{-6})} = 106 \text{ Kohm}$$

Por lo cual se utiliza una resistencia de 100Kohm para el filtro.

Debido a que la salida del sensor LM35, que es conforme se muestra en la figura 3.13.

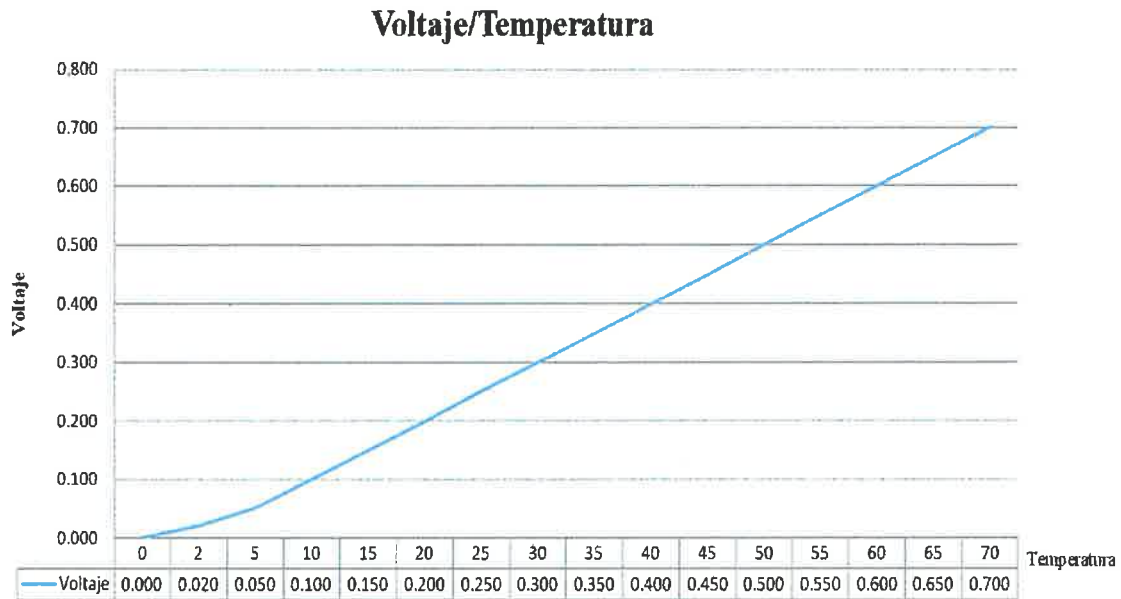


Figura 3.13 Relación de Voltaje-Temperatura.

Para obtener una lectura analógica óptima, se utiliza la siguiente fórmula de resolución:

$$\text{Resolución por bit} = \frac{V_{ref+} - V_{ref-}}{2^{nbits}}$$

Utilizando sólo 8 bits, y $V_{ref+}=2.56v$ y $V_{ref-}=0v$, entonces:

$$\text{Resolución por bit} = \frac{2.56v - 0v}{2^{8bits}} = \frac{2.56v}{256} = 10mV/bit$$

Con lo cual se obtiene una resolución lineal relacionada con el sensor de temperatura que emite 10mV/°C.

3.2.3.5 Almacenamiento de datos

Para el almacenamiento de datos se utilizó el circuito integrado 24LC256, capaz de almacenar hasta 32kbytes, la siguiente figura muestra como se encuentra conectada, donde WP es un pin del microcontrolador para controlar la activación y desactivación de la memoria, también está conectada al bus I²C mediante los pines 5 y 6, y, por último los pines de dirección 1,2 y 3 están conectados a gnd.

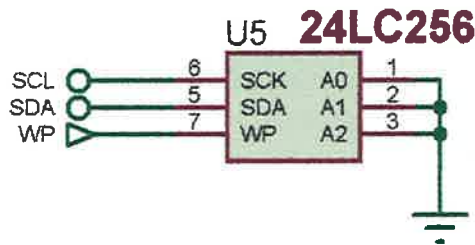


Figura 3.14 Conexión del CI 24LC256.

La siguiente figura muestra como se encuentra particionada la memoria de datos del circuito integrado.

Dirección	Tamaño	
00 00h	256 bytes	32 Kbytes divididos en 128 Páginas de 256 bytes cada una
00 FFh		
01 00h	256 bytes	
01 FFh		
02 00h	256 bytes	
02 FFh		
7F 00h	256 bytes	
7F FFh		

Figura 3.15 Memoria de datos del 25LC256.

Los datos a almacenar en la memoria, son los siguientes:

- Temperatura
- Año
- Mes
- Día del mes
- Día de la semana
- Hora
- Minuto
- Am/pm
- Estado de los paros de emergencia 1 y 2
- Estado del gabinete (Abierto o cerrado)
- Estado de la salida

Por lo tanto se estructura la información de la siguiente manera:

Temperatura	Valor binario (0-256)	
Año	BCD Decenas de año 0001=1	BCD Unidades de año 0010=2
Mes	Enero Febrero Marzo Abril Mayo Junio Julio Agosto Septiembre Octubre Noviembre Diciembre	02h 06h 0Ah 0Eh 12h 16h 1Ah 1Dh 22h 26h 2Ah 2Dh
Día del mes	BCD Decenas de día XX01=1	BCD Unidades de día 1001=9
Día de la semana	Lunes Martes Miércoles Jueves Viernes Sábado Domingo	02h 06h 0Ah 0Dh 12h 16h 1Ah

Hora, sistema horario de 12 horas	Sistema horario 0=am 1=pm XX a/p 001		Decenas de hora 1=1 1		Unidades de hora BCD 0010=2 0010	
Minutos	BCD decenas de minuto X001=1			BCD Unidades de minuto 0010=2		
Byte de control	B7 Paro de E. 1 1	B6 Paro de E. 2 0	B5 ¿Sirve dato? 0	B4 Salida a contactor 0	B3 Gabinete 1	b[2:0] 111

Figura 3.16 Estructuración de la información.

Debido a que se requiere almacenar la información mencionada anteriormente, se muestra en la figura 3.17 la arquitectura diseñada para el almacenamiento de la información; en la página 0 de las primeras cinco direcciones se almacena la información de la página y su dirección interna de donde está el último byte escrito, posteriormente y en cada una de las 128 páginas de la memoria se guarda un paquete de 8 bytes donde se indica el estado del byte de control, la temperatura, el año, el mes, el día del mes, el día de la semana, la hora y los minutos, posteriormente dentro de cada página se realizan 124 almacenamientos de datos (121 paquetes para la página 0) de el byte de control y la temperatura sabiendo que se tiene una constante de tiempo de almacenamiento de 20 minutos para cada paquete, una vez terminada cada página, se procede a escribir de nuevo el paquete de 8 bytes de información general.

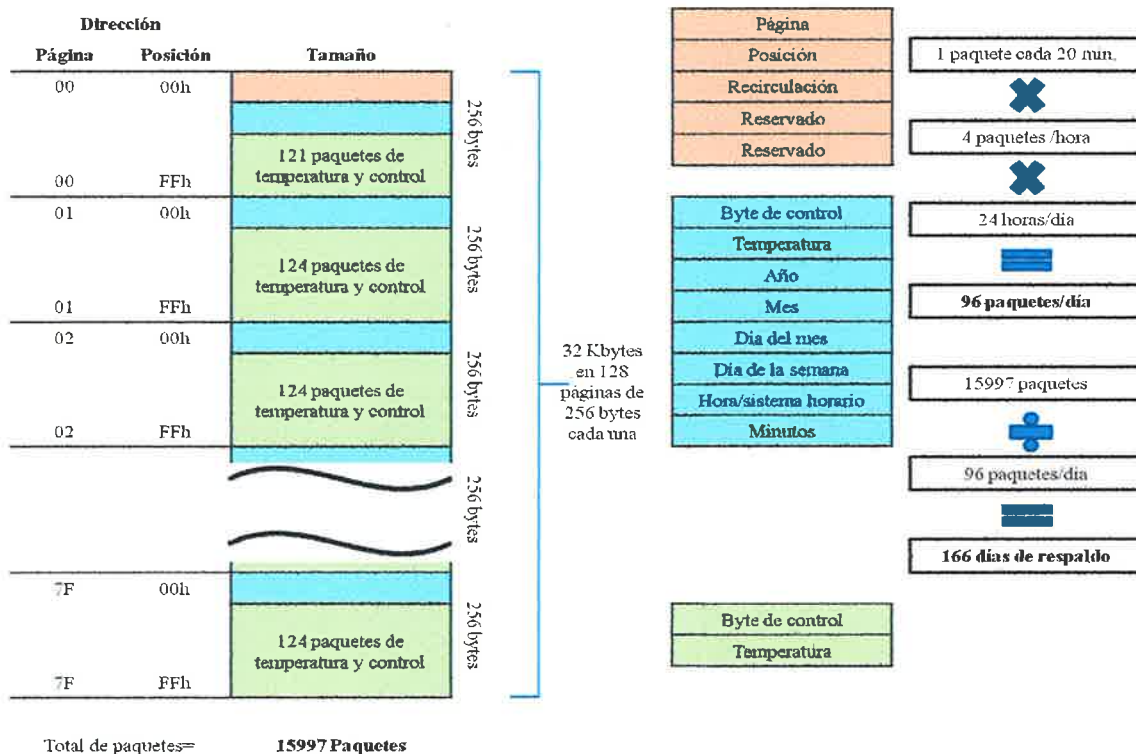


Figura 3.17 Arquitectura diseñada para el almacenamiento de la información.

Por lo tanto, si se almacena 1 paquete cada 20 minutos, se pueden respaldar hasta 166 días de información.

3.2.3.6 Otros aspectos necesarios

Además se adiciona al programa del controlador características que permiten un correcto funcionamiento de todo el sistema, como lo son:

Una pantalla que al abrir el gabinete muestra la fecha, la hora, la temperatura monitoreada y la opción de un acceso al menú para realizar las distintas operaciones.



Figura 3.18 Pantalla principal.

Si se accesa al menú se encuentran las siguientes opciones de trabajo: modo prueba, descarga de datos, configuración de la salida, configuración de la fecha, testeo de paro de emergencia.

El modo prueba, el cual permite activar o desactivar la salida sin importar como se encuentre configurada la temperatura de encendido y apagado, está función está integrada en el controlador debido a que hay ocasiones donde es necesario realizar pruebas para corroborar conexiones eléctricas o algún otro tipo de pruebas, donde sería muy tardado el esperar a que el controlador decida conforme a la temperatura.

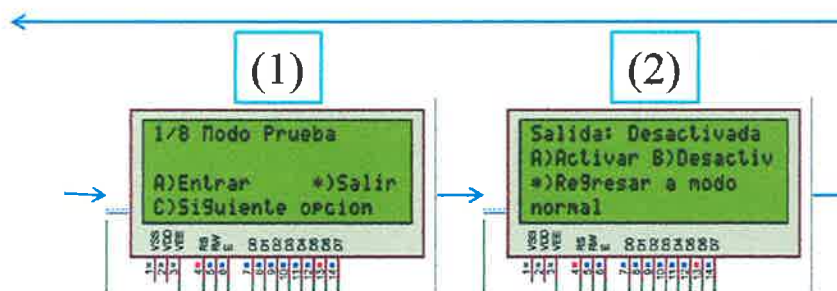


Figura 3.19 Diagrama de pantallas menú 1.

En la figura 3.19 superior se puede observar el procedimiento para acceder al modo de prueba, una vez accedendo al menú y teniendo en la pantalla la opción de modo prueba (inciso 1), se presiona la letra A para acceder a él, y ahora se puede activar o desactivar la salida para realizar las pruebas necesarias. Una vez terminado esto se presiona “*” y el controlador regresa al menú.

La opción de descargar datos: está opción es para acceder a la descarga de la información. En la figura 3.20 se muestra la secuencia de pantallas que el usuario se encuentra a la hora de realizar la descarga de los datos; la opción dentro del menú es la número 2, una vez accedendo a esta opción, el programa pregunta si se desean descargar los datos (paso 2 de la figura 3.20), si el usuario acepta la descarga de los datos, entonces el programa pide al usuario que conecte el dispositivo de almacenamiento de datos (paso número 3), una vez conectado el dispositivo de almacenamiento el usuario presiona la letra A del teclado, entonces el programa verifica si se da la conexión con el dispositivo de almacenamiento, si la conexión se realizó correctamente el programa muestra el mensaje de

que esta transfiriendo los datos (paso 5), en caso de que la conexión no sea detectada correctamente el programa muestra el mensaje de que la conexión ha sido fallida (paso 6).

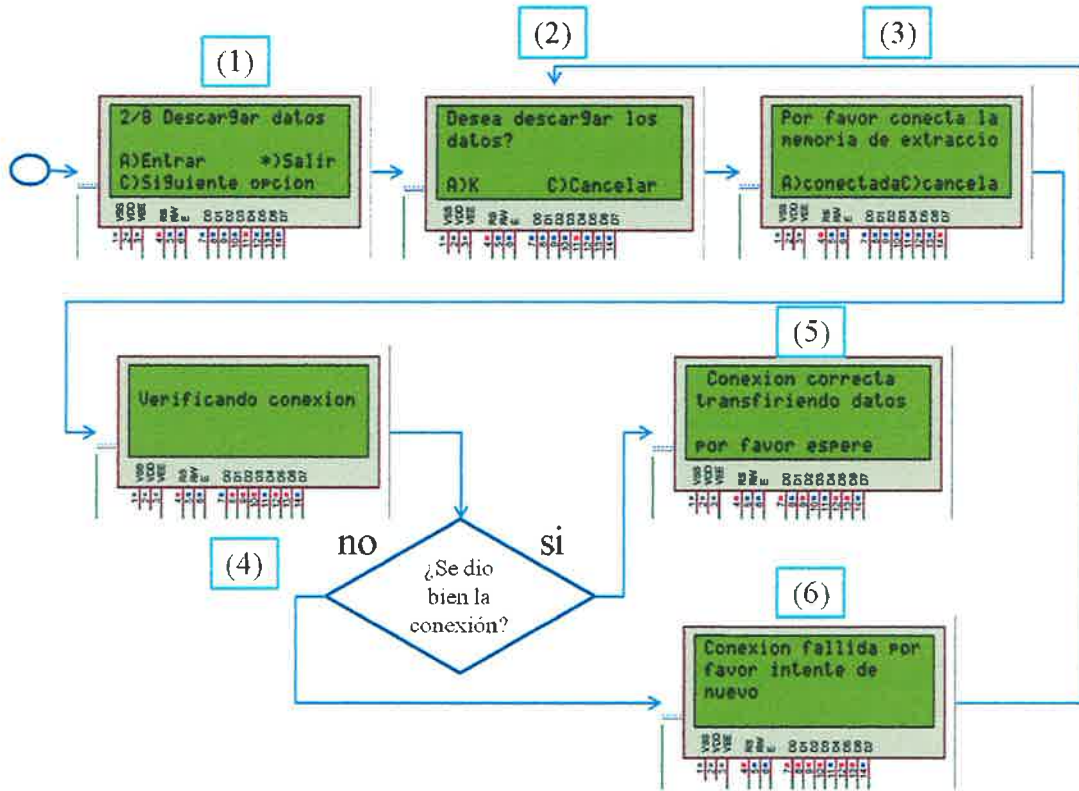


Figura 3.20 Diagrama de pantallas de la descarga de datos.

El testeo de paro de emergencia, es otra función anexa al programa que permite hacer pruebas para corroborar el buen funcionamiento de los botones de paro de emergencia, el diagrama de pantallas se muestra en la figura siguiente.

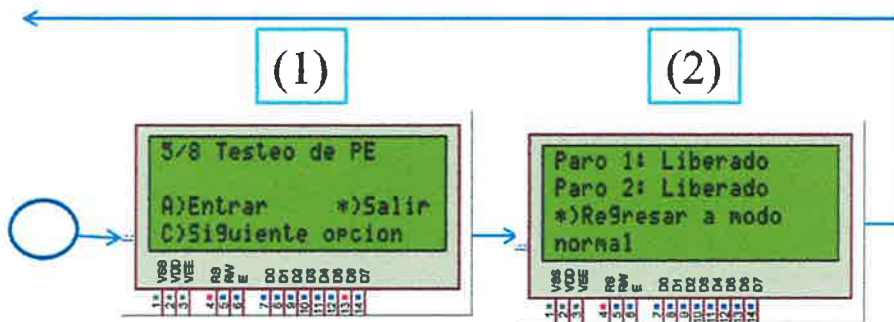


Figura 3.21 Diagrama de pantallas de paro de emergencia.

El cambio de password mostrado en la figura 3.22 es otra función adicional al programa que permite la modificación de la contraseña inicial, está función es anexada

debido a que en ocasiones el usuario puede necesitar cambiar el password, es la opción 8 del menú (inciso 1), si el usuario entra al menú, entonces el programa le pide la contraseña inicial del programa (inciso 2), entonces el programa verifica si la clave es correcta (inciso 3), si la clave es incorrecta el programa muestra “CODIGO ERRONEO” y entonces regresa al inciso número 2, pero, si el password es el correcto el programa muestra la pantalla del inciso 5; entonces el usuario inserta la nueva clave 2 veces (incisos 5 y 6) y el programa verifica si coinciden las claves. Si el password nuevo no coincide el programa muestra la pantalla del inciso 7, pero, si el password nuevo coincide el programa muestra la pantalla del inciso 8.

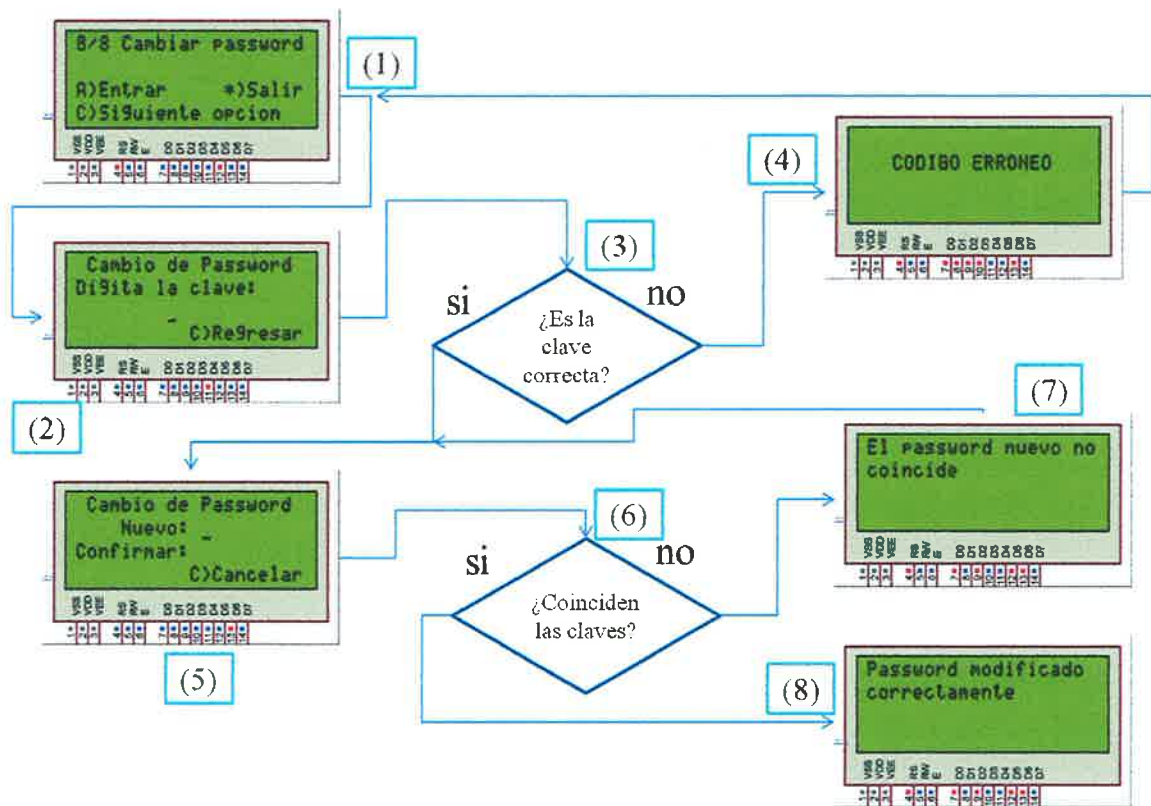


Figura 3.22 Diagrama de pantallas del cambio de password.

3.2.4 Diseño de sistema para transferencia de datos

El diseño del sistema para la extracción de datos de la tarjeta controladora se desarrolla en un microcontrolador PIC18F2550, el cual se puede programar en lenguaje C con el programa PIC C Compiler, el cual cuenta con librerías especiales para utilizar el

módulo de comunicación USB, y así poder hacer una transferencia de datos a una computadora mediante el bus USB.

3.2.4.1 Extracción de datos vía RS-232

Para la extracción de datos del sistema de control de temperatura para heladas, esta tarea se realiza mediante el protocolo de comunicación RS-232, ya que la tarjeta controladora de temperatura de heladas es manejada por un microcontrolador PIC18F4550 programado en lenguaje ensamblador sería muy complejo realizar la comunicación con el microcontrolador PIC18F2550 mediante el módulo USB, por lo cual, es mucho más sencillo realizar la transferencia de datos mediante los módulos UART de los 2 microcontroladores. En la siguiente figura se muestra el diagrama de conexión utilizado para la extracción de los datos, los cuales son almacenados en la memoria 24LC256.

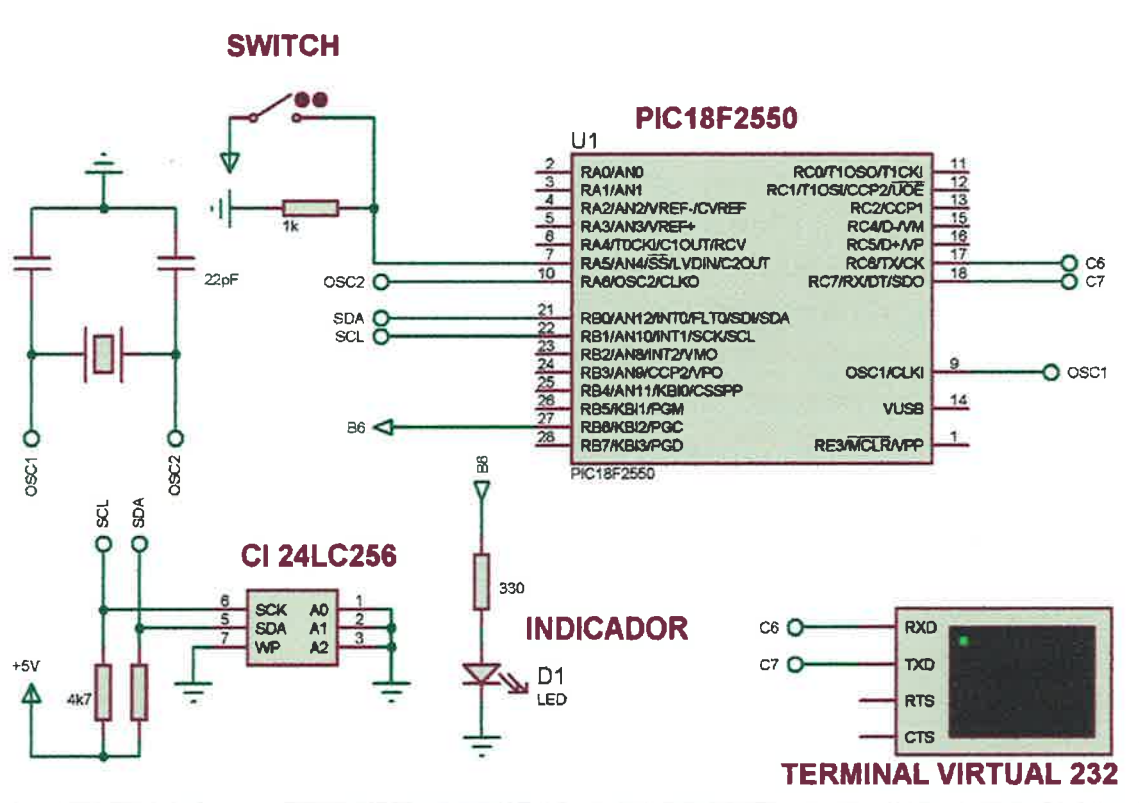


Figura 3.23 Diagrama de conexión utilizado para la extracción de los datos.

3.2.4.2 Envío de datos vía USB a la PC

Para el envío de los datos del sistema de almacenamiento a la pc, el microcontrolador PIC18F2550 envía los datos a la PC mediante USB, extrae los datos de la memoria EEPROM y los envía a la PC. En la siguiente figura se muestra el sistema completo

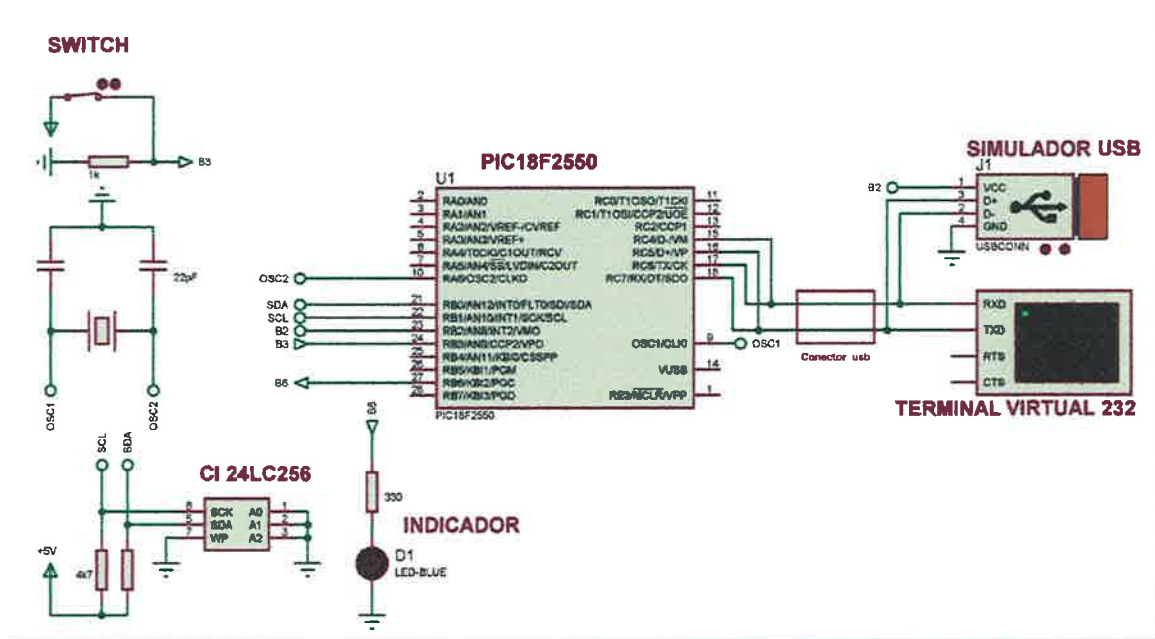


Figura 3.24 Diagrama de conexión utilizado para la extracción y envío de los datos.

3.2.5 Interfaz gráfica

La interfaz gráfica para adquirir los datos se realiza en LabView para facilitar la interfaz de usuario, la siguiente figura muestra la interfaz gráfica realizada.

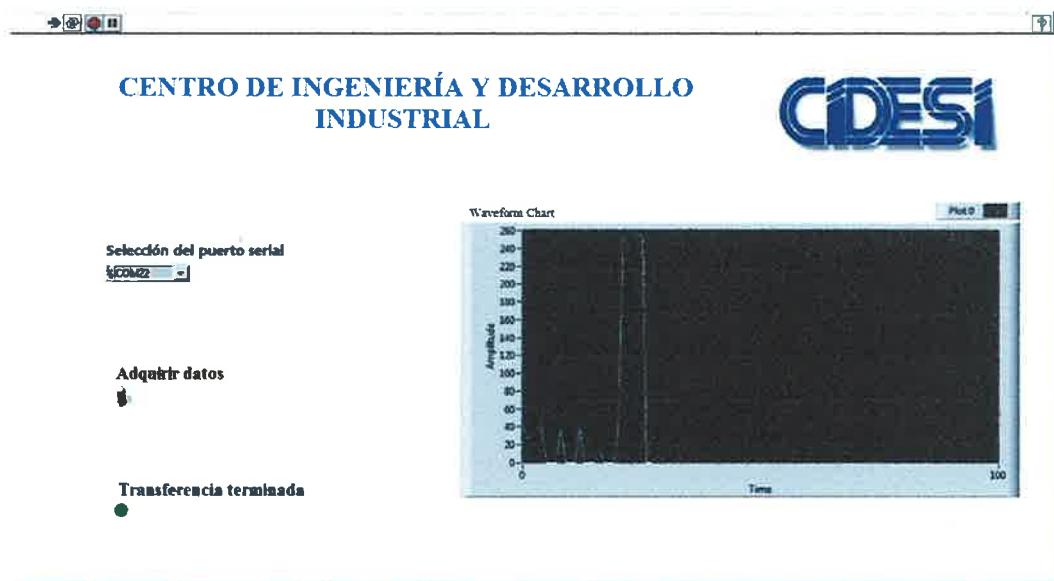


Figura 3.25 Interfaz gráfica en LabView.

3.2.6 Armado en tablilla de pruebas

Una vez realizadas las simulaciones, se procede a conectar los dispositivos en tablilla de pruebas para depurar el código.

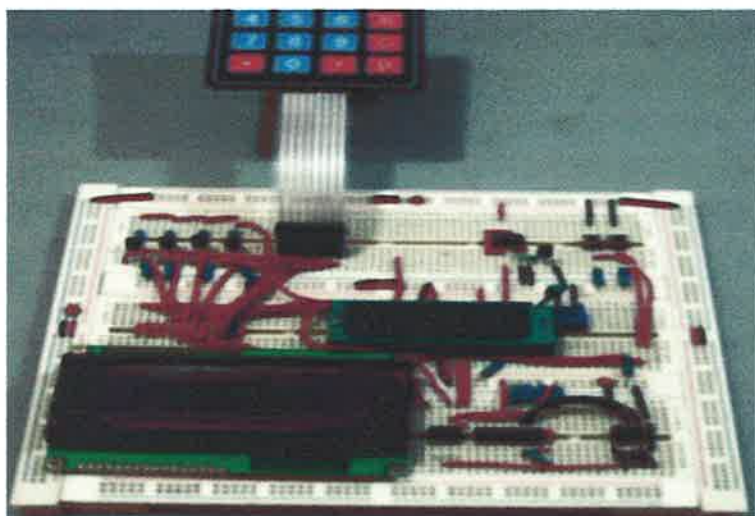


Figura 3.26 Conexión en tablilla de pruebas.

3.2.7 Diseño de PCBs

El diseño de los esquemáticos y los diseños de los PCBs se realizó en el software ALTIUM Designer.

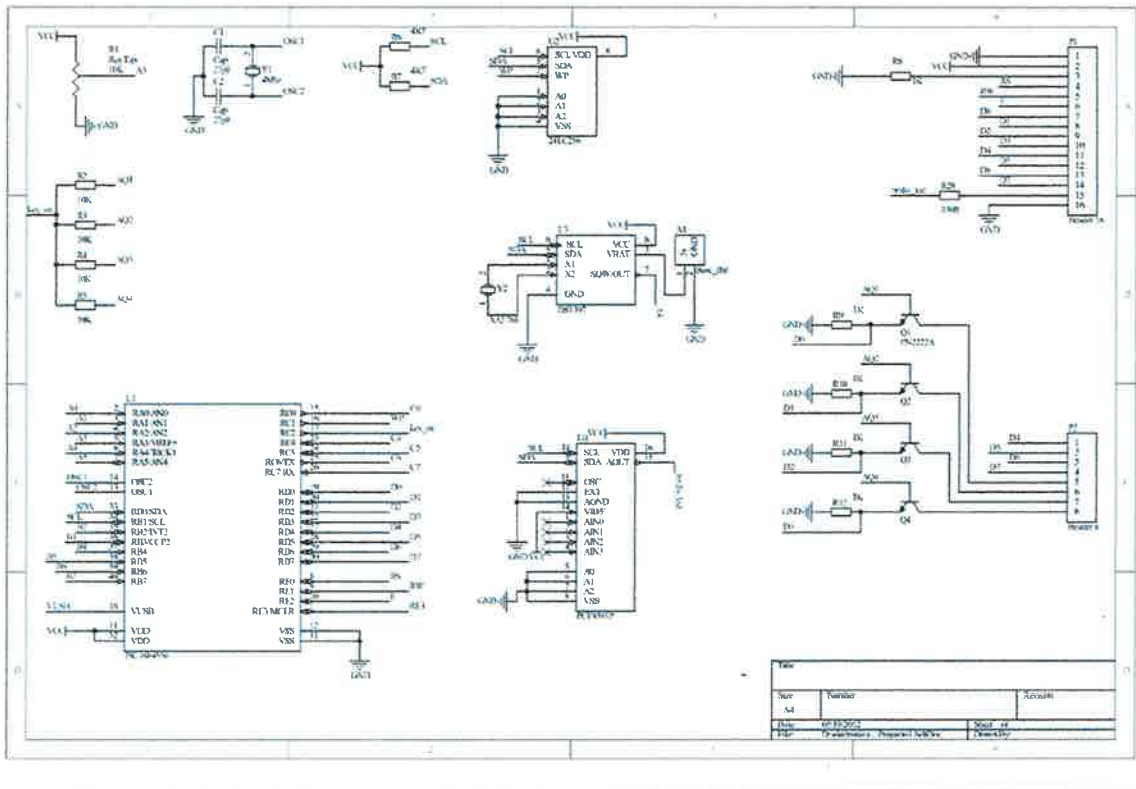


Figura 3.27 Esquemático del controlador y periféricos de la tarjeta de control.

Esquemático de tarjeta de almacenamiento de datos.

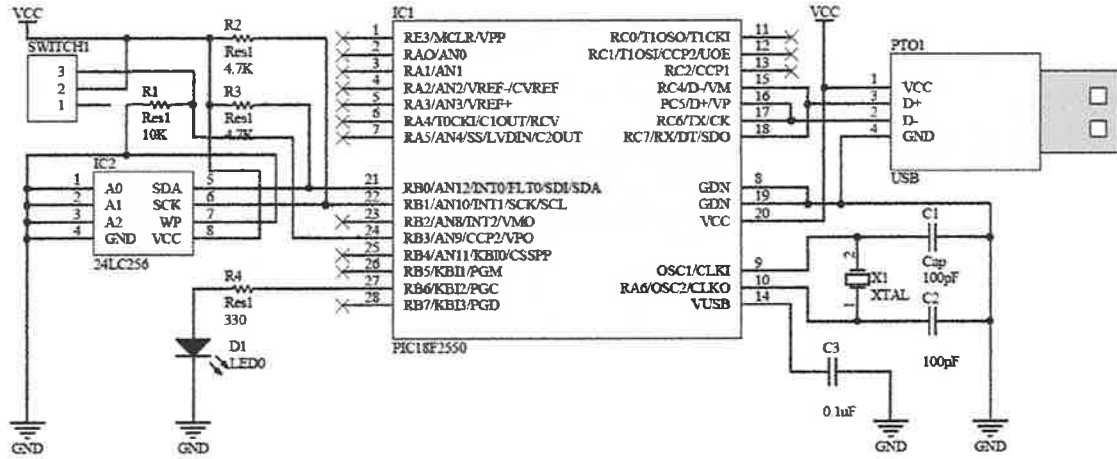
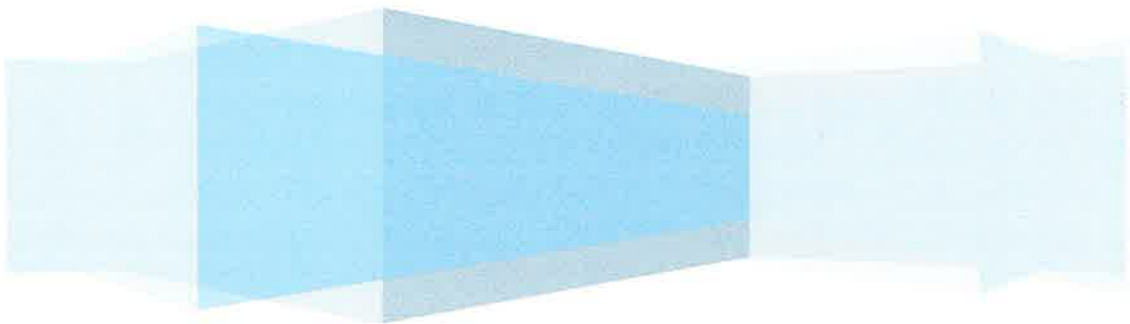


Figura 3.30 Esquemático de tarjeta de almacenamiento de datos.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS



4.1. Prueba de filtro de temperatura

Para el sensado de la temperatura se realizó la prueba al filtro paso bajo diseñado, en la figura 4.1 se muestra en color verde la señal del sensor adicionada con ruido al ser tocado el cable de la señal analógica por un usuario antes de pasar por el filtro. La línea amarilla muestra la salida del filtro, la cual anula en gran medida el ruido de la señal de entrada. En la figura también se muestra el voltaje pico a pico de la señal antes de pasar por el filtro con un valor de 275milivolts, mientras que una vez pasada esta señal por el filtro, se tiene un voltaje pico a pico de 28.1 milivolts, con lo cual reduce a un 10% la variación pico a pico.

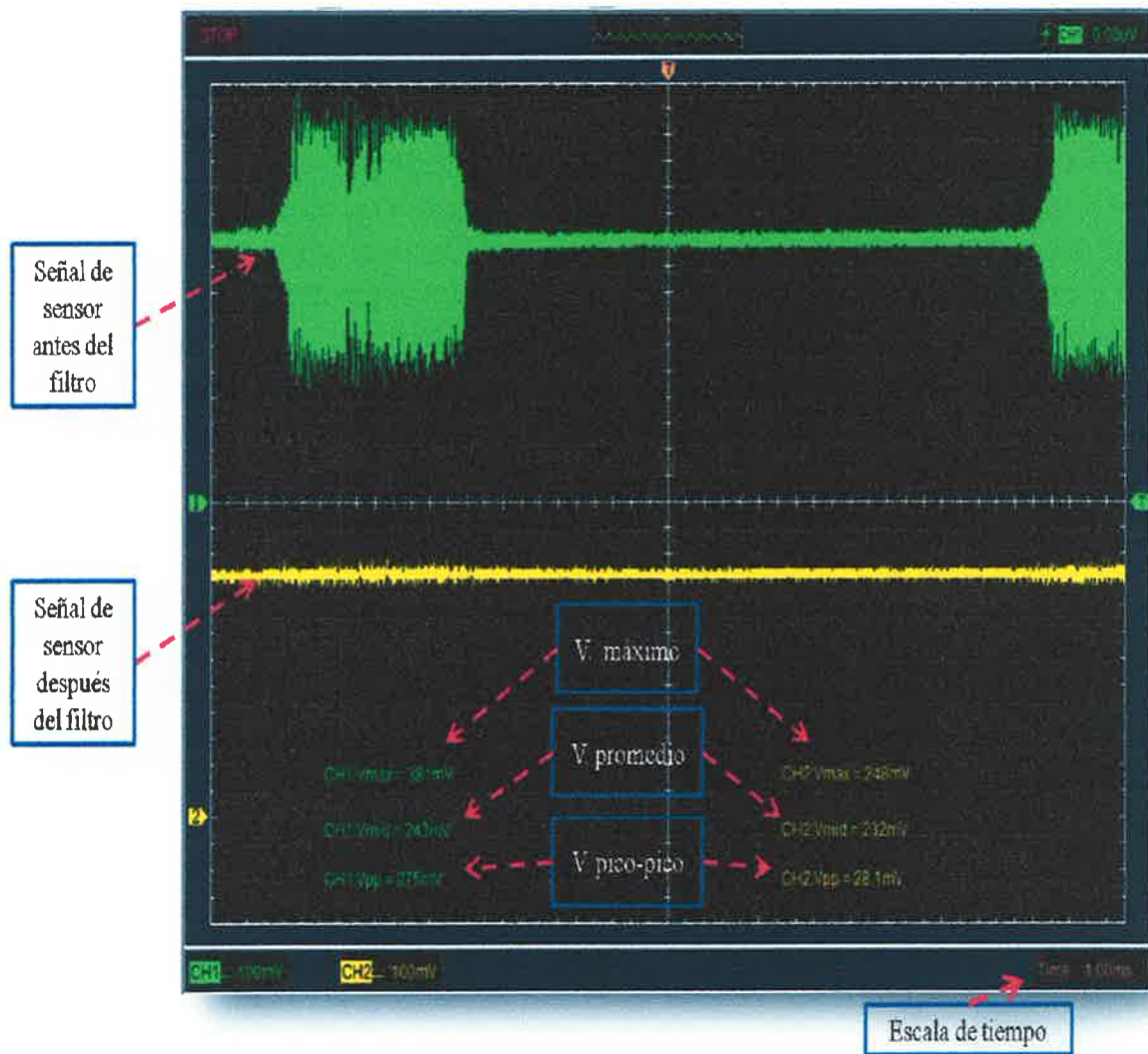


Figura 4.1 Prueba de filtro paso bajo.

4.2. Prueba de almacenamiento de datos

Se hizo funcionar a la tarjeta controladora, y posteriormente se extrajo la memoria EEPROM, la cual encada espacio de datos inicialmente tenía el valor FF hexadecimal. En la figura 4.2 se muestra como se lee la memoria EEPROM mediante el software PICKit de microchip, y se parecía como los datos se han almacenado.

The screenshot shows the Microchip PICKit 2 software interface. At the top, there is a menu bar with 'File', 'Device Family', 'Programmer', 'Tools', 'View', and 'Help'. Below the menu bar, the 'EEPROMS/24LC Configuration' section is visible, showing the device set to '24LC256' and a checksum of 'A6AC'. A green banner indicates 'Programming Successful'. Below this, there are buttons for 'Read', 'Write', 'Verify', 'Erase', and 'Blank Check'. The 'Program Memory' section is set to 'Hex Only' and 'Source: Read from 24LC256'. A table of data is displayed, with a red circle highlighting it. A blue box labeled 'Datos' with an arrow points to the table. The table contains the following data:

0000	00	F5	00	00	00	0F	1F	12	26	03	0A	07	42	0F	20	1F	
0010	10	1F	1D	1F	0A	1F	1D	1F	09	1F	0E	1F	16	1F	19	1F	
0020	1A	1F	18	1F	0D	1F	1A	1F	16	0F	20	0F	15	0F	16	0F	
0030	1A	1F	0D	0F	1E	0F	1E	1F	09	1F	11	1F	15	1F	12	1F	
0040	1F	0F	15	0F	20	1F	14	0F	20	1F	0E	1F	16	1F	14	0F	
0050	1F	1F	08	1F	0F	1F	1B	1F	1C	1F	1C	1F	08	1F	19	1F	
0060	1C	1F	09	0F	1E	0F	20	0F	1F	08	1F	08	1F	0B	1F	12	0F
0070	1E	0F	16	1F	11	1F	1D	1F	08	0F	20	1F	14	0F	1F	0F	
0080	20	0F	1A	0F	16	0F	1D	1F	0E	1F	11	0F	1E	0F	16	0F	
0090	21	0F	1F	0F	17	0F	20	1F	0B	0F	1F	0F	1A	0F	20	1F	
00A0	14	1F	12	1F	08	1F	11	1F	13	0F	20	0F	15	1F	09	1F	
00B0	16	0F	21	1F	12	0F	20	0F	1D	0F	16	0F	20	0F	17	0F	

At the bottom of the interface, there are buttons for 'Auto Import Hex + Write Device', 'Read Device + Export Hex File', and the 'PICKit 2' logo.

Figura 4.2 Lectura de la memoria EEPROM.

4.3. Prueba de visualización de datos

Una vez generada la información, se extrajo de la tarjeta de control y se pasó a la tarjeta de almacenamiento de datos, y posteriormente se utilizó el programa en LabView para visualizar los datos generados en un archivo de Excel. En la figura 4.3 se muestran algunos de los datos generados y como son generados

HISTORIAL DE INFORMACION

FECHA	DIA	HORA	¿SIRVE?	PARO 1	PARO 2	GABINETE	SALIDA	TEMPERATURA
19-sep-12	Miércoles	12:53 p.m.	si	libre	libre	abierto	desactivada	40
19-sep-12	Miércoles	1:13 p.m.	si	libre	libre	abierto	desactivada	27
19-sep-12	Miércoles	1:33 p.m.	si	libre	libre	abierto	desactivada	32
19-sep-12	Miércoles	1:53 p.m.	si	libre	libre	abierto	desactivada	38
19-sep-12	Miércoles	2:13 p.m.	si	libre	libre	abierto	desactivada	41
19-sep-12	Miércoles	2:33 p.m.	si	libre	libre	cerrado	desactivada	0
19-sep-12	Miércoles	2:53 p.m.	si	libre	libre	cerrado	desactivada	0
19-sep-12	Miércoles	3:13 p.m.	si	libre	libre	cerrado	desactivada	0
19-sep-12	Miércoles	3:33 p.m.	si	libre	libre	abierto	desactivada	37
19-sep-12	Miércoles	3:53 p.m.	si	libre	libre	cerrado	desactivada	0

Figura 4.3 Datos generados en LabView.

4.5. Tarjetas desarrolladas

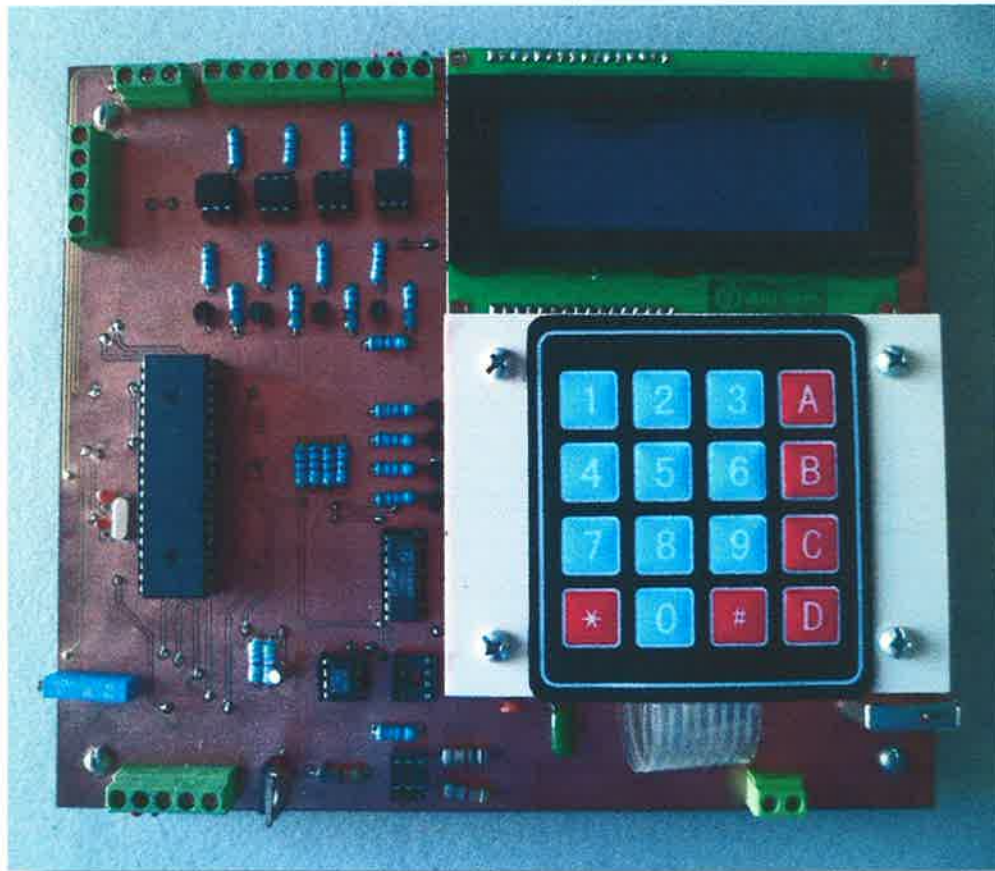


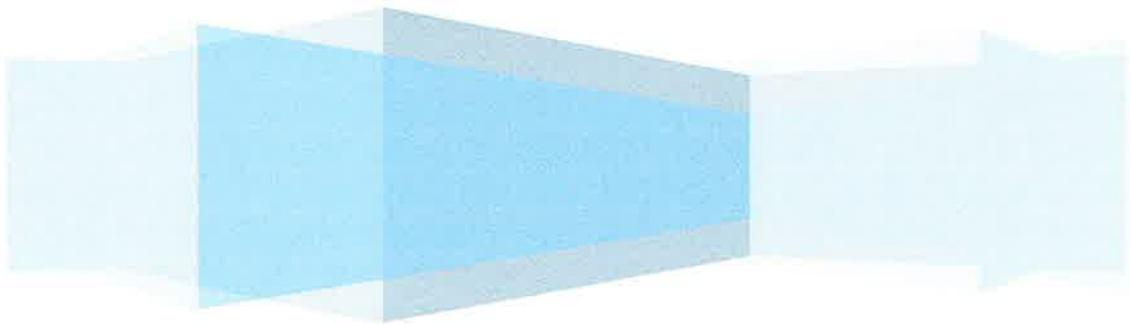
Figura 4.5 Tarjeta principal terminada.



Figura 4.6 Dispositivo USB recolector de datos.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES



Conclusiones

En este trabajo se realizó el diseño de un sistema electrónico para el control de heladas tipo radiación en zonas aguacateras, este sistema será utilizado para realizar investigación aplicada sobre extractores del tipo sumidero invertido. Para obtener como resultado el diseño del sistema electrónico se siguió una metodología de investigación basada en el análisis de los requerimientos necesarios en el proceso de la extracción de heladas y la consulta de bibliografía dirigida al tema específico.

En este capítulo se presentan las conclusiones y las recomendaciones para trabajos futuros. De los resultados obtenidos en este trabajo de investigación se tienen las siguientes conclusiones: El diseño del sistema electrónico pudo ser realizado de manera correcta gracias a las recomendaciones presentadas por las distintas referencias. La arquitectura se dividió en 3 partes, la primera parte consta de la tarjeta que será utilizada directamente en campo para realizar el control de la extracción de las heladas, en la segunda parte se realizó una tarjeta electrónica para extraer los datos de la tarjeta de control de heladas y la tercera parte es el desarrollo de una interfaz en LabView para tratar los datos y poder ser entendibles para cualquier usuario.

Las características a considerar al diseñar el sistema electrónico fueron sin duda, la correcta compatibilidad de los circuitos, su costo, su capacidad y la viabilidad de poder reemplazarlos por uno semejante (disponibilidad de los componentes en la zona).

Con respecto a la programación del microcontrolador, una vez aplicado el filtro pasa bajas se obtuvieron excelentes resultados y una muy buena estabilidad al sensor la temperatura. El control del encendido y apagado configurable quedó programado de manera óptima debido a las pruebas realizadas. El historial de funcionamiento permite un respaldo de información de más de 5 meses, un tiempo excelente, y con los datos suficientes, sin embargo es necesario realizar más pruebas para poder validar en su totalidad su funcionamiento.

La simulación del sistema electrónico funcionó de manera correcta y permitió depurar los programas de manera más rápida, y sin el riesgo a dañar los componentes.

En el armado y desarrollo de la tablilla de pruebas se pudieron depurar más situaciones que en la simulación no se podían observar, el armado en la tablilla de pruebas sirvió mucho para el desarrollo del PCB.

El diseño y desarrollo de los PCBs costó un tiempo considerable debido a que era necesario aprender a utilizar el software de diseño ALTIUM Designer, sin embargo, después de algunos errores a la hora del maquinado del PCB, las tarjetas electrónicas funcionaron en su totalidad. Una vez teniendo las tarjetas maquinadas el ensamble de ellas fue muy rápido y de él se tuvieron excelentes resultado.

Las pruebas finales realizadas sirvieron para depurar aún más el sistema electrónico y todo el sistema funcionó correctamente; sin embargo ahora es necesario poder implementar el sistema en campo para poder depurar aún más el sistema y el programa. De acuerdo a todo lo mencionado anteriormente se puede afirmar que se cumplieron los objetivos de este trabajo en su totalidad.

Para trabajos futuros se recomienda realizar un análisis de consumo de energía del controlador para poder implementar este sistema en zonas donde el cableado de alimentación eléctrica no llega y es necesario obtener energía de fuentes alternativas, además, de acuerdo con las referencias, anexar la variable de humedad, ya que a ciertos valores de humedad las aspas de los extractores sufren muchos daños.

Referencias

- Aguirre, A., Fernández, P. & Grossy, C.** (2007). *Interfaz USB genérica para comunicación con dispositivos electrónicos*. (Tesis de licenciatura). Universidad de la República Oriental del Uruguay, Montevideo, Uruguay.
- Angulo, J. & Angulo, I.** (2005). *Microcontroladores PIC Diseño práctico de aplicaciones, primera parte*. México: Mc Graw Hill.
- Arellano, Rogelio.** (2012, 12 de Febrero). De pronóstico reservado, panorama de fruticultores michoacanos. *La voz de Michoacán*. Recuperado de <http://www.vozdemichoacan.com.mx/de-pronostico-reservado-panorama-de-fruticultores-michoacanos/>
- Attaway, J.A.** 1997. *A history of Florida citrus freezes*. Lake Alfred, Florida: Florida Science Source, Inc.
- Bagdonas, A., Georg, J.C. & Gerber, J.F.** 1978. Techniques of frost prediction and methods of frost and cold protection. *World Meteorological Organization Technical Note*, No. 157. Geneva, Switzerland. 160p.
- Bettencourt, M.L.** (1980). Contribuição para o estudo das geadas em Portugal Continental. *In: O Clima de Portugal*, Fasc. XX. Lisboa: I.N.M.G.
- Blanc, M.L., Geslin, H., Holzberg, I.A. & Mason, B.** (1963). Protection against frost damage. *WMO, Technical Note*, No. 51. Geneva, Switzerland. 62p.
- Bolton, W.** (2001). *Mecatrónica, sistemas de control electrónico en ingeniería mecánica y eléctrica*. México: Alfa-omega
- CIDESI**, (2012, Junio 8). Acerca de nosotros [Descripción del CIDESI]. Recuperado de http://cidesi.com/joomla/index.php?option=com_content&view=article&id=46&Itemid=56.

- Cooper, W.C., Young, R.H. & Turrell, F.M.** 1964. Microclimate and physiology of citrus their relation to cold protection. *Agricultural Science Review*, (Winter 1964): 38–50.
- Cunha, J.M.** 1952. Contribuição para o estudo do problema das geadas em Portugal. Relatório final do Curso de Engenheiro Agrónomo. I.S.A., Lisboa.
- Cunha, F.R.** (1982). O problema da geada negra no Algarve [in Portuguese]. *INIA Divulgação* No. 12. 125p.
- Hewitt, K.** 1983. Interpreting the role of hazards in agriculture. pp. 123–139, in: K. Hewitt (ed). *Interpretations of Calamity*. London: Allen & Unwin.
- Kalma, J.D., Laughlin, G.P., Caprio, J.M. & Hamer, P.J.C.** 1992. *Advances in Bioclimatology, 2. The Bioclimatology of Frost*. Berlin: Springer-Verlag .144p.
- Martsof, J.D., Gerber, J.F., Chen, E.Y., Jackson, H.L., & Rose, A.J.** 1984. What do satellite and other data suggest about past and future Florida freezes?. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, **97**: 17–21.
- Mee, T.R. & Bartholic, J.F.** 1979. Man-made fog. pp. 334–352, in: Barfield and Gerber, 1979, q.v.
- Mota, F.S.** (1981). *Meteorologia Agrícola*. 5th ed. São Paulo, Brazil: Liv. Nobel.
- Palacios, E., Remiro, F. & López, L.** (2004). *Microcontrolador PIC16F84 desarrollo de proyectos*. México: Alfa-omega.
- Perry, K.B.** 1994. *Freeze/frost protection for horticultural crops*. North Carolina State University Cooperative Extension, Horticulture Information Leaflet No.705. 9p.
- Ramírez, Liliana.** (2011, 2 de Julio). Más de 281 mil toneladas de aguacate se exportaron al mercado estadounidense. *La Opinión de Michoacán*. Recuperado de http://www.laopiniondemichoacan.com.mx/hemeroteca2009_/julio2011/noticias/02/30.html

REFERENCIAS

Wang, C.Y. & Wallace, H.A. 2003. Chilling and freezing injury. *In: K.C Gross, C.Y.Wang and M. Saltveit (eds). The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks.* USDA Handbook Number, No.66. <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/index.html> (downloaded 8 November 2002).

White, G.F. & Haas, J.E. 1975. *Assessment of Research on Natural Hazards.* Cambridge, Massachusetts: The MIT Press. 487p.

Whiteman, T.M. 1957. **Freezing** points of fruits, vegetables, and florist stocks. *USDA Market Research Report*, No.196. 32p.