UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES Y REDES

Diseño e implementación de un sistema prototipo de calefacción aplicado a la cuna de un neonato que habita en regiones propensas al friaje, mediante el uso de energía solar como fuente primaria

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero de Telecomunicaciones y Redes

AUTOR(ES)

Alvarez Gálvez, Anthony Alejandro (0000-0003-1385-2109)

Palomino López, Janie Vianny (0000-0003-0999-8017)

ASESOR

Mesones Málaga, Gustavo (0000-0002-9082-6978)

Lima, 28 de Febrero del 2017

RESUMEN

El presente proyecto busca implementar un sistema prototipo para combatir el frío en zonas alto andinas de bajos recursos utilizando energía solar para disminuir costos. El sistema prototipo combate el frío basándose en nodos calefactables para generar calor y colocarlas al interior de una cuna para los neonatos. Estos nodos son controlados por un microcontrolador que regula el calor brindado por los nodos de acuerdo a sensores que van obteniendo constantemente la temperatura en la cuna calefactable.

En el primer capítulo se desarrollan los aspectos introductorios del sistema prototipo, justificando el problema a resolver dando a conocer su importancia para la población escogida. El segundo capítulo muestra el contenido del marco teórico en el cual se describen los conceptos y principio usados para la realización de cada etapa del sistema prototipo. El tercer capítulo contiene la descripción del hardware del sistema prototipo; aquí se describe a detalle lo implementado en cada etapa: las tarjetas electrónicas, los componentes y dispositivos indicando su funcionamiento, características y rango de operación. El cuarto capítulo describe la etapa de software que implica la programación de los microcontroladores que forman parte del hardware del sistema prototipo a través de diagramas de flujo para facilitar su comprensión. El capítulo cinco muestra las pruebas, resultados y validaciones realizadas durante la etapa de pruebas del sistema prototipo con el fin de validar su efectividad. Por último, se encuentran las conclusiones, recomendaciones para implementaciones similares o trabajos futuros complementarios y referencias bibliográficas.

Palabras clave**:** energía solar; cunas; salvan; vidas; frío

Design and implementation of a prototype heating system applied to the crib of a new born who lives in regions susceptible to cold, through the use of solar energy as a primary source.

ABSTRACT

This project seeks to implement a prototype system to combat the cold in low-income high Andean areas using solar energy to reduce costs. The prototype system combats the cold by relying on heated nodes to generate heat and place them inside a crib for newborns. These nodes are controlled by a microcontroller that regulates the heat provided by the nodes according to sensors that constantly obtain the temperature in the heated cradle.

In the first chapter, the introductory aspects of the prototype system are developed, justifying the problem to be solved, revealing its importance for the chosen population. The second chapter shows the content of the theoretical framework in which the concepts and principles used for the realization of each stage of the prototype system are described. The third chapter contains the description of the hardware of the prototype system; Here, what is implemented in each stage is described in detail: the electronic cards, the components and devices indicating their operation, characteristics and range of operation. The fourth chapter describes the software stage that involves the programming of the microcontrollers that are part of the prototype system hardware through flow charts to facilitate understanding. Chapter five shows the tests, results and validations carried out during the testing stage of the prototype system in order to validate its effectiveness. Finally, there are the conclusions, recommendations for similar implementations or complementary future works and bibliographical references.

Keywords: solar energy; cribs; save; lives; cold; heated

TABLA DE CONTENIDOS

1 ASPECTOS INTRODUCTORIOS 1

1.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA 2

1.1.1 Situación Problemática 2

1.1.2 Definición del Problema 6

1.2 ESTADO DEL ARTE 6

1.2.1 Productos y soluciones existentes 7

Casacas Calefactables 7

Plantillas Calefactables 8

1.2.2 Publicaciones Científicas / Ingenieriles 9

Cocina Mejorada 9

K'oñi Chuya Wasi (Casa Caliente) 10

1.3 JUSTIFICACIÓN 10

1.4 OBJETIVOS 12

1.4.1 Objetivo General 12

1.4.2 Objetivos Específicos de Implementación 12

1.5 BREVE DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA 13

1.5.1 Funcionamiento 13

1.5.2 Limitación de la solución 14

1.5.3 Resultados esperados 15

1.6 APLICACIONES Y USUARIOS POTENCIALES DEL PRODUCTO 16

1.7 VIABILIDAD 16

1.7.1 Viabilidad técnica 16

1.7.2 Viabilidad económica 17

1.7.3 Viabilidad social 19

1.7.4 Viabilidad operativa 19

1.8 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES 19

2 MARCO TEÓRICO 20

2.1 ENERGÍA SOLAR 20

2.2 IRRADIACIÓN SOLAR EN EL PERÚ 21

2.3 CONVERSIÓN DE LUZ SOLAR EN ENERGÍA ELÉCTRICA 24
2.3.1 La celda solar 24
2.3.2 Paneles solares FV 30
2.4 MÉTODOS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA 36
2.4.1 Batería de Gel 36
2.4.2 Ciclos de una batería 37
2.4.3 Amperes Horas (Ah) 38
2.5 FUENTE CONMUTADA TIPO BUCK 38
2.6 FUNCIONAMIENTO DE LA FUENTE BUCK 39
2.7 CIRCUITO INTEGRADO MC34060 42
2.8 TEMPERATURA Y SUS MEDICIONES 44
2.8.1 Temperatura 45
2.8.2 Aislamiento térmico 45
2.8.3 Ley cero de la termodinámica 46
2.8.4 Calor 47
2.8.5 Cantidad de calor 47
2.8.6 Calor específico 48
2.8.7 Transferencia de calor 50
2.8.8 Métodos de medición de temperatura 53
2.8.9 Termistor 54
2.9 CORRIENTE, RESISTIVIDAD Y RESISTENCIA 56
2.9.1 Corriente eléctrica 56
2.9.2 Resistividad 57
2.9.3 Resistencia 59
2.9.4 Resistores en serie y en paralelo 61
2.10 POTENCIA EN CIRCUITOS ELÉCTRICOS 63
2.11 EQUIVALENCIAS ENERGÉTICAS 63
2.12 MICROCONTROLADOR 64
2.12.1 Características del microcontrolador 65
2.13 REDES CELULARES 65
2.13.1 Introducción a los sistemas celulares 65
2.14 GPRS (GENERAL PACKET RADIO SERVICE) 66
2.14.1 Principios del GPRS 66

2.14.2 Funcionamiento del GPRS 67
2.14.3 Servicios 70
2.15 COMANDOS AT 72
2.15.1 Respuestas y resultados del comando 73
2.15.2 Sintaxis de los comandos AT 74
2.15.3 Tipos de comandos AT 75
3 DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE PROPUESTO 76
3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO 76
3.2 DESCRIPCIÓN DE CADA ETAPA DEL SISTEMA PROTOTIPO 78
3.2.1 Fuentes de Alimentación 78
3.2.2 Reguladores de tensión/ corriente 86
3.2.3 Control de Temperatura 89
3.2.4 Nodos calefactables 90
3.2.5 Recintos y Soportes 95
3.3 CÁLCULOS MATEMÁTICOS USADOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA 98
3.3.1 Calorías necesarias para incrementar la temperatura al interior de la cuna 98
3.3.2 Calibre (número AWG) del alambre de nicrom 99
3.3.3 Consumo energético 102
3.4 CIRCUITOS INTEGRADOS PROGRAMABLES 104
3.4.1 Descripción del PIC C (Compilador) 104
4 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE PROPUESTO 106
4.1 PROGRAMACIÓN DEL CONTROL DE LA CUNA CALEFACTABLE 106
4.1.1 Control proporcional usando PWM para controlar la temperatura de la cuna calefactable 106
4.1.2 Control on-off para controlar la temperatura de la cuna calefactable 109
5 PRUEBAS Y RESULTADOS DE VALIDACIÓN 113
5.1 RESULTADO DEL ACABADO Y DISPOSICIÓN DE PARTES 113
5.1.1 Estación Solar 113
5.1.2 Cuna Calefactable 117
5.2 MÉTODOS DE VALIDACIÓN 122

5.2.1 Consumo energético 122
5.2.2 Validaciones de Carga y Descarga 129
5.2.3 Eficiencia del sistema 135
5.2.4 Escalamiento del sistema 135
5.3 INFORME ECONÓMICO 137
6 [REFERENCIAS] 142

ÍNDICE DE TABLAS

Table 1 Costos de implementación del Sistema prototipo 17
Table 2 Costo de tarjeta de control de cuna calefactable 17
Table 3 Costo de tarjeta reguladora a 5 V 18
Table 4 Costo de tarjeta reguladora de 13.8 V 18
Table 5 Eficiencia y costo de los paneles solares FV8 32
Table 6 Tabla de calor específico de sustancias 49
Table 7 Resistividad en materiales a temperatura ambiente (20° C) 59
Table 8 Tabla de conversión de unidades energéticas y de potencia 64
Table 9 Descripción de servicios GPRS PTP 71
Table 10 Descripción de servicios GPRS PTM 71
Table 11 Especificaciones técnicas del panel solar 80
Table 12 Especificaciones mecánicas del panel solar 80
Table 13 Coeficientes de temperatura del panel solar 81
Table 14 Detalles técnicos de la batería 83
Table 15 Tabla de equivalencia de estándar AWG y mm2 102
Table 16 Mediciones del Voltaje entregados por el panel solar 127
Table 17 Tabla de valores de temperatura en la cuna calefactable 131
Table 18 Incremento de temperatura en cuna cada diez minutos 134
Table 19 Costos de implementación del Sistema prototipo 137
Table 20 Costo de tarjeta de control de cuna calefactable 138
Table 21 Costo de tarjeta reguladora a 5 V 139
Table 22 Costo de tarjeta reguladora de 13.8 V 139
Table 23 Costo de cuna calefactable propuesta 140
Table 24 Comparación de costos con producto similar 141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figure 1. Temperaturas mínimas absolutas 3
Figure 2 Temperatura cada hora en Cusco 4
Figure 3 Principales Causas de Muerte en el Perú 4
Figure 4 Principales Causas de Muerte en menores de 1 año 5
Figure 5 Principales Causas de Muerte en mayores a 65 años 5
Figure 6 Diferentes Prendas Calefactables 7
Figure 7 Plantillas Calefactables 8
Figure 8 Cocina Mejorada del Grupo De Apoyo Rural de la PUCP 9
Figure 9 Proyecto "Pared Caliente" 10
Figure 10 Diagrama General de la Arquitectura del Sistema 13
Figure 11 Radiación Solar en enero 22
Figure 12 Radiación Solar en abril 22
Figure 13 Radiación Solar en julio 23
Figure 14 Radiación Solar en octubre 23
Figure 15 Celda solar 24
Figure 16 Tipos de Materiales 25
Figure 17 Dopaje del Silicio 27
Figure 18 Porción de una Celda FV 27
Figure 19 Juntura N-P 28
Figure 20 Panel Solar 30
Figure 21 Batería de gel 38
Figure 22 Esquema de Fuente Buck 38
Figure 23 Estados de la fuente Buck 39
Figure 24 Curvas de Corriente y Voltaje en fuente Buck 40
Figure 25 Vista Superior del MC34060 42
Figure 26 Vista a detalle y componentes Básicos de control 43
Figure 27 Diagrama de Tiempos 43
Figure 28 Ley cero de la termodinámica – A y B en equilibrio con C 46
Figure 29 Ley cero de la termodinámica – A y B en equilibrio entre sí 47
Figure 30 Capacidad calorífica del agua en función a la temperatura 49

Figure 31 Formas de transferencia de calor 50
Figure 32 Conducción de calor 51
Figure 33 Convección de calor 51
Figure 34 Radiación solar 52
Figure 35 Flujo de aire dentro de una incubadora 53
Figure 36 Componentes de un termistor 54
Figure 37 Resistencia vs. Temperatura en termistores (NTC) y posistores (PTC) 55
Figure 38 Corriente que circula por sección transversal A 56
Figure 39 Conductor con sección transversal uniforme 60
Figure 40 Resistencias en serie y en paralelo 61
Figure 41 Potencia de alimentación al elemento de circuito entre a y b 63
Figure 42 Ejemplo de un sistema celular 66
Figure 43 Arquitectura de la red GSM 69
Figure 44 Arquitectura de la red GPRS 70
Figure 45 Diagrama de flujo de ejeución de los comandos AT 73
Figure 46 Sintaxis de un comando AT 74
Figure 47 Sintaxis de múltiples comandos AT en una misma línea de comando 74
Figure 48 Diagrama General de la Arquitectura del Sistema 77
Figure 49 Dimensiones del panel solar 81
Figure 50 Rendimiento eléctrico (Temperatura de la celda: 25 °C) 82
Figure 51 Dependencia de temperatura de Isc, Voc y Pmax 82
Figure 52 Dependencia de irradiación de Isc, Voc y Pmax (Temp. de celda: 25 °C) 83
Figure 53 Detalles del PowerBank 84
Figure 54 Dispositivo de Protección de Baterías de Litio-ion 85
Figure 55 Batería de gel 86
Figure 56 Diagrama esquemático del Regulador/Limitador para carga de Batería 87
Figure 57 Visión Superior del MC34060 88
Figure 58 Empaquetado de plástico TO92 – vista de desde abajo LM35 90
Figure 59 Tela Polar 91
Figure 60 Material aislante conocido como "Espuma de poliestileno" 93
Figure 61 Hilo de Nicrom 94
Figure 62 Cortadora de Nicrom 94
Figure 63 Vista inicial de la cuna calefactable 95

Figure 64 Dimensiones del prototipo de la cuna 96
Figure 65 Prototipo de la cuna calefactable 96
Figure 66 Soporte de la Estación Solar 97
Figure 67 Distribución del alambre de nicrom en un nodo calefactable 99
Figure 68 Distribución del alambre de nicrom en configuración paralela 100
Figure 69 Distribución del alambre de nicrom en configuración paralela 101
Figure 70 Logo y vista del editor del compilador 105
Figure 71 Propuesta del Diagrama de flujo del controlador de cuna calefactable 108
Figure 72 Propuesta 2 del Diagrama de flujo del controlador de cuna calefactable. 110
Figure 73 Diagrama de tiempo del controlador de cuna calefactable (Propuesta 2) 112
Figure 74 Parte frontal del panel solar sobre su estructura 113
Figure 75 Parte lateral del panel solar sobre su estructura 114
Figure 76 Dispositivo que permite el ajuste del ángulo 114
Figure 77 Tablero de Control de Carga del panel Solar 115
Figure 78 Conexión del tablero al Panel Solar 115
Figure 79 Regulador de voltaje a 13.8 V 116
Figure 80 Regulador de voltaje a 5 V 117
Figure 81 Parte frontal del prototipo de la cuna calefactable 118
Figure 82 Interior del prototipo de la cuna calefactable 118
Figure 83 Parte posterior del prototipo de la cuna calefactable 119
Figure 84 Puente H 119
Figure 85 Tarjeta Controladora de la cuna calefactable 120
Figure 86 LCD mostrando detalle de funcionamiento 121
Figure 87 Vista de los nodos calefactables para la cuna 121
Figure 88 Salida USB 122
Figure 89 Especificaciones del PowerBank 123
Figure 90 Consumo energético de un nodo calefactable (cuna) 123
Figure 91 Consumo de corriente al energizar el nodo con 10.5V 124
Figure 92 Consumo energético a máximo consumo 124
Figure 93 Consumo energético a medio consumo (nodo izquierdo) 125
Figure 94 Consumo energético a medio consumo (nodo derecho) 125
Figure 95 Consumo energético de la tarjeta controladora 126
Figure 96 Mediciones de Voltaje del Panel Solar en diferentes horas del día 127

Figure 97 Salida de Voltaje del regulador conectado al panel solar 128
Figure 98 Salida del regulador de 13.8V, conectado al Panel solar 128
Figure 99 Carga del power bank mediante circuito armado en protoboard 129
Figure 100 Seguna carga del Power Bank 130
Figure 101 Test de carga de la batería de Gel conectada al panel solar 130
Figure 102 Gráfico de incremento de temperatura en cuna calefactable según el tiempo 134
Figure 103 Imagen referencial del sistema 135
Figure 104 Gráfico de escalamiento de cantidad calorica necesaria para elevar en 10°C la temperatura de la cuna respeccto a su volumen 136
Figure 105 Gráfico de tiempo de variación según la eficiencia de retención de calorías 137
Figure 106 Casacas calefactables de la marca Kernok 140

1 ASPECTOS INTRODUCTORIOS

Nuestro país ha sido siempre en su mayoría centralista, concentrando los mejores servicios y riquezas en nuestra Capital. Esto deja en una situación privilegiada a los departamentos de la costa, puesto que aparte del mar, que les proporciona una gran fuente de ingresos y alimentos, el clima es bastante óptimo y los mayores desastres en este lado del país son algunas lluvias que puedan producir ciertas inundaciones. Los departamentos de la Sierra presentan sin embargo una naturaleza completamente diferente. En estos, el terreno totalmente accidentado y las bajas temperaturas alcanzadas, suponen un riesgo y un reto para sobrevivir ante tantas adversidades; sin contar que el gobierno no presta la atención debida a la dura realidad que viven nuestros vecinos de las zonas alto andinas.

Las bajas temperaturas alcanzadas sobre los 3800 m.s.n.m, conocidas también como friaje, son la causa de muchas muertes de niños menores de 5 años y ancianos mayores de 65 años. Es así que el problema seleccionado es la ausencia de sistemas o métodos activos para combatir el frío en esas zonas, quienes usan métodos rústicos para protegerse del frio, perjudicando aún más su salud; como por el ejemplo la quema de leña en el interior de la vivienda.

El presente proyecto tiene por finalidad desarrollar un sistema que permita combatir de manera más activa y efectiva el frío en las zonas alto andinas donde es bastante fuerte. Tiene por finalidad utilizar energía solar considerando que muchas de estas familias no cuentan con instalación de suministro eléctrico, y a su vez proporcionándoles calor de una manera más sana sin comprometer su salud y poner su vida en riesgo.

1.1 Situación Problemática y Definición del Problema

1.1.1 Situación Problemática

El Perú es un país diverso, cuenta con 11 ecorregiones y 84 de las 117 zonas de vida que existen en el mundo[1], sus condiciones geográficas y diversidad de recursos naturales están estructurados bajo un sistema montañoso conocido como la cordillera de los Andes generando tres regiones geográficas muy diferentes entre sí: costa, sierra y selva. El clima en la sierra o zona andina está relacionado con la altitud, la latitud y cercanía a la costa desértica o a la selva y generalmente presenta climas de subtropical a frío; y dependiendo del piso altitudinal o ecorregión las temperaturas van desde los -11° hasta los 20°C[2].

Éstas zonas con clima seco y con bajas temperaturas genera uno de los problemas que nuestro país trata de combatir cada año, sobre todo durante los meses de mayo a agosto donde se registran que las temperaturas descienden a niveles que ocasionan un deterioro en la calidad de vida de las personas de bajos recursos que viven en dichas zonas desencadenando en enfermedades respiratorias y ocasionando incluso la muerte sobre todo en niños y ancianos quienes están más afectos a este factor[3].

Las regiones que presentan las temperaturas más bajas a lo largo del año son las que se listan a continuación: Ancash, Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Huancavelica, Huánuco, Junín, La Libertad, Moquegua, Pasco, Puno y Tacna[4]. Esto se puede ver reflejado en el siguiente mapa del Perú en donde se muestras las temperaturas mínimas absolutas según el registro histórico obtenido del Atlas de heladas del Perú, tal como se aprecia en la Figura 1.

[1] Cfr. Prom-Perú: 2016
[2] Wikipedia: 2016
[3] MINSA: 2010
[4] Diaz: 2013

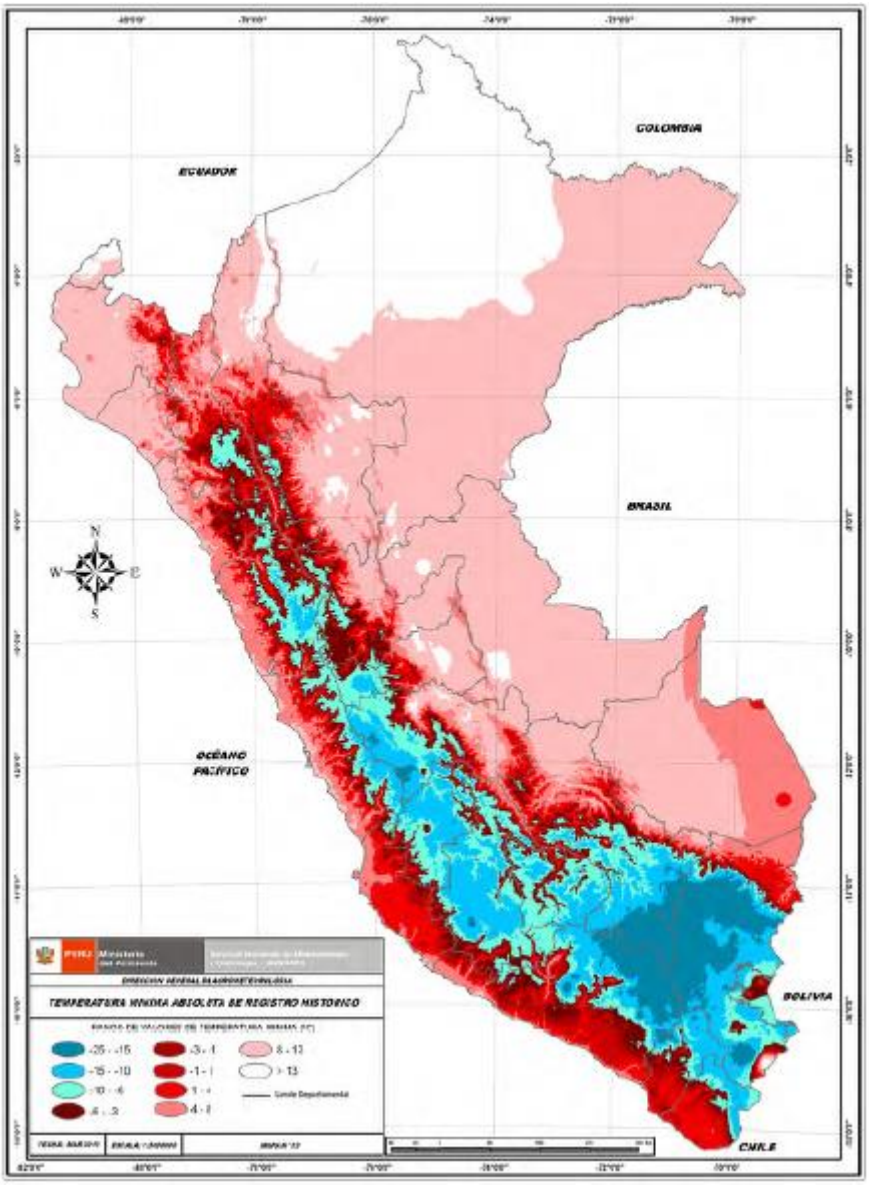


Figure 1. Temperaturas mínimas absolutas

Fuente: SENHAMI - Atlas de Heladas de Perú

Si nos centramos en el comportamiento de la temperatura durante las horas del día observamos que la temperatura desciende abruptamente durante las noches por lo que motiva que la presente tesis esté centrada en contribuir en la mejora de la temperatura corporal de las personas durante ese lapso de tiempo. A continuación, se muestra una gráfica con los valores de temperatura que alcanza una de las ciudades afectadas por el frío para mostrar lo anterior descrito[5], tal como se puede apreciar en la Figura 2.

[5] SENHAMI: 2005

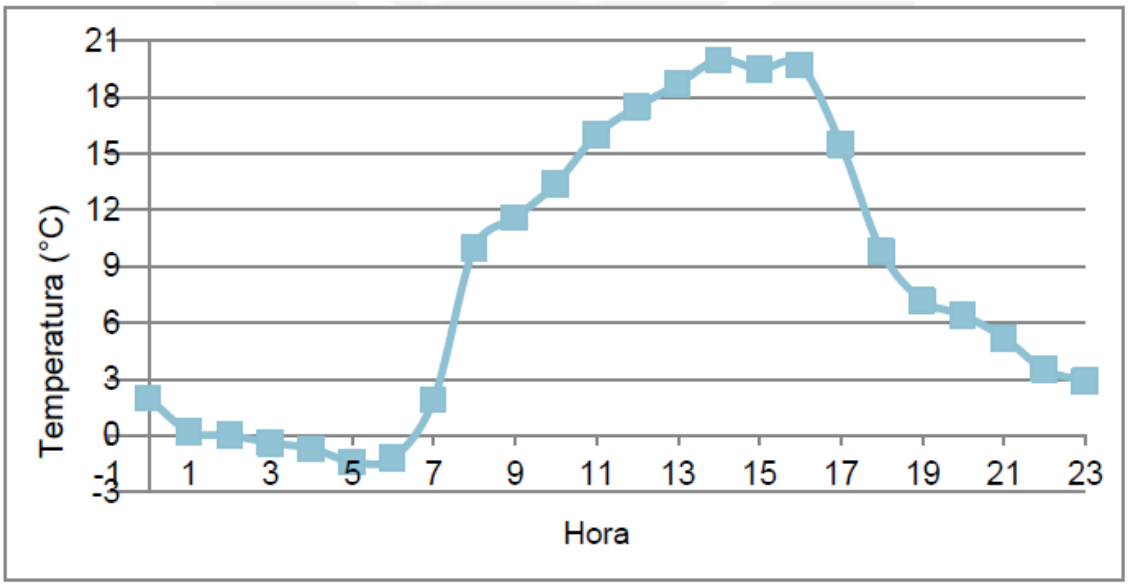


Figure 2 Temperatura cada hora en Cusco

Fuente: Díaz: 2013

En la Figura 1.3 se puede apreciar la información que Las bajas temperaturas alcanzadas son la causa de muchas enfermedades respiratorias y pueden originar (derivar) incluso en la muerte. Los más afectados son los niños menores de 5 años y ancianos mayores de 65 años. Asimismo, en las Figuras 3, 4 y 5, la información proporcionada por MINSA donde mencionan que las infecciones respiratorias agudas son la principal causa de muerte en el Perú.

Figure 3 Principales Causas de Muerte en el Perú

Fuente: MINSA: 2010

Y si consideramos las personas más vulnerables tenemos las siguientes cifras por rango de edades.

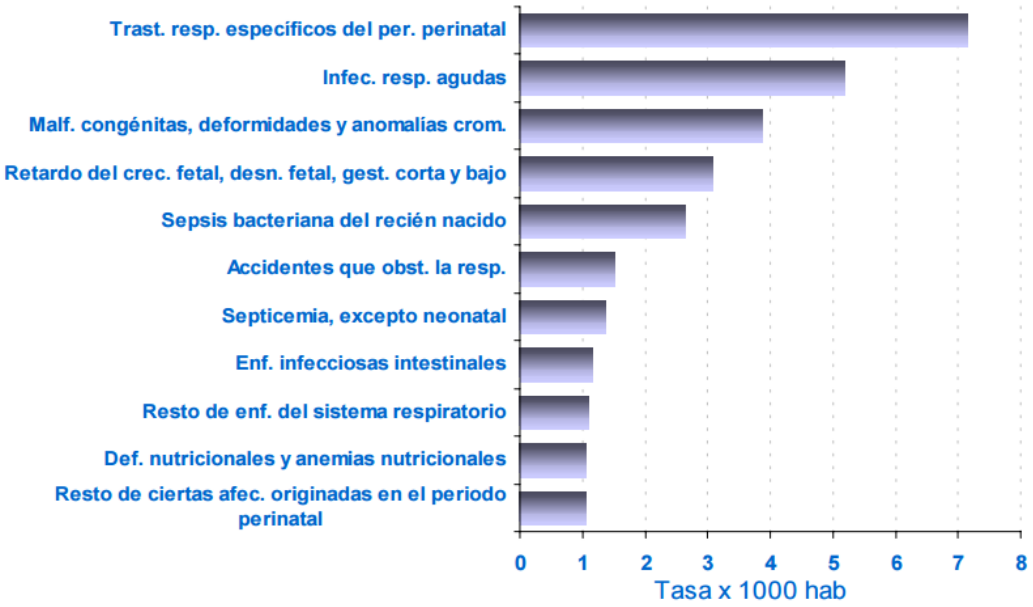


Figure 4 Principales Causas de Muerte en menores de 1 año

Fuente: MINSA: 2010

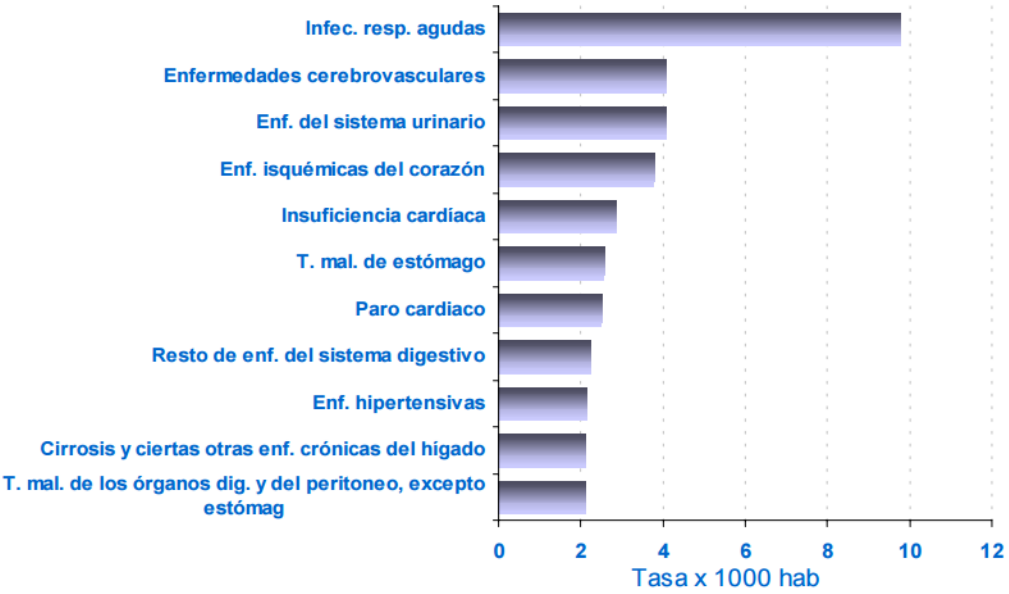


Figure 5 Principales Causas de Muerte en mayores a 65 años

Fuente: MINSA: 2010

Es así que el problema seleccionado tiene como argumento la ausencia de sistemas o métodos activos para combatir las bajas temperaturas en las zonas donde esta representa una amenaza para la salud y bienestar de las personas, en las cuales usan métodos rústicos para protegerse del frio, perjudicando aún más su salud; como por el ejemplo la quema de leña y/o excremento de animales en el interior de la vivienda.

Esta tesis tiene por finalidad desarrollar un sistema que permita combatir de manera más activa y efectiva las bajas temperaturas en diversas zonas del Perú. Tiene por finalidad utilizar energía solar considerando que muchas de estas familias no cuentan con instalación de suministro eléctrico, y a su vez proporcionándoles calor de una manera sana sin comprometer su salud y poner su vida en riesgo.

El no tomar acciones para atacar activamente esta problemática generará que las personas sigan ejecutando las malas prácticas para protegerse del frío originando que la tasa de morbilidad y mortandad debido a las infecciones respiratorias agudas se incremente de manera proporcional a la tasa de crecimiento poblacional de estas zonas.

1.1.2 Definición del Problema

1.1.2.1 Problema General

Pobres y obsoletos mecanismos utilizados por personas de extrema pobreza, para lograr protección contra bajas temperaturas, que atentan contra la preservación de la vida humana en los rangos más sensibles: niños y adultos mayores.

1.1.2.2 Problema Ingenieril

¿Qué consideraciones tecnológicas e ingenieriles de diseño electrónico y diseño de software se tienen que llevar en cuenta, a fin de desarrollar un sistema prototipo que satisfaga los requerimientos de control de temperatura y eficiencia energética con el objetivo de mejorar la calidad de vida y/o aumentar las posibilidades de supervivencia de las personas que enfrentan climas con bajas temperaturas?

1.2 Estado del Arte

En el presente estado del arte se desarrollarán cuatro soluciones que están relacionadas con el actual sistema propuesto, los cuales tienen como meta combatir de igual modo la afectación del frio en las personas.

1.2.1 Productos y soluciones existentes

Casacas Calefactables

Figure 6 Diferentes Prendas Calefactables

Fuente: Mercado libre

Existen en el mercado diferentes marcas que producen este tipo de prendas calefactables, en su mayoría orientadas al mercado deportivo; como por ejemplo para las personas que realizan actividades en la nieve o en el mar tal como se muestra en la figura 6. También existen empresas que las fabrican para proteger a los trabajadores que están expuestos a condiciones meteorológicas extremas; como por ejemplo, la persona que debe hacer instalaciones eléctricas en torres a gran altura, o personal de vigilancia que debe estar de guardia toda una noche en campo abierto, etc.

Por ejemplo, la marca Milwaukee Electric Tool continúa ampliando su gama de herramientas semi-compactas de batería M12™. Compatible con la gama profesional de M12™, la nueva chaqueta calefactable utiliza la innovadora tecnología M12™ RED LITHIUM-ION™ para calentar el cuerpo y estimular la circulación de la sangre incluso en las condiciones más frías en el lugar de trabajo. Escondido en un bolsillo trasero, las baterías de la gama de RED LITHIUM-ION™ con una mayor autonomía (ahora con 2A.h), suministran hasta 6 horas de calor con una sola carga.

El funcionamiento es bastante similar al que se propone en el presente proyecto, pero cada resaltar que el elemento activo en este caso, son los filamentos de fibra de carbono, y no el Nicrom como se plantea usar en este proyecto. Por otro lado, el costo de cada prenda es bastante elevado, estando en un promedio mínimo de 180 euros hasta 250 euros, lo cual es bastante elevado para hacerlo accesible a todas las personas que lo requieran.

Plantillas Calefactables

Figure 7 Plantillas Calefactables
Fuente: Kernkel

Las plantillas Calefactables son un dispositivo que ofrece un refugio de calor para los dedos congelados si el usuario se dirige fuera para hacer una caminata en invierno, viajar o acampar y en diferentes situaciones tal como se muestra en la figura 7. Está diseñado para encajar en cualquier talla de calzado, pues se pueden recortar a la talla deseada sin afectar el sistema de calefacción. Por otro lado, estas plantillas mantienen los pies en calor hasta siete horas con una sola carga.

Este productor es apto tanto para los que enfrentan bajas temperaturas como también par a los que tienen problemas de circulación.

Las baterías disponen de 3 niveles de calor fácilmente regulables, en función de sus necesidades. El calor infrarrojo está concentrado exclusivamente en los dedos de los pies, la zona realmente sensible al frío. Las plantillas calefactables ofrecen un calor moderado, no intenso

Por lo general, cuentan con 3 niveles de selección de temperatura, lo cual variará la autonomía de la batería, por ejemplo de la siguiente manera:

- Una pulsación, color Verde, 35ºC (6-7 horas aprox. de duración)
- Una pulsación, color Naranja, 45ºC (4-5 horas aprox. de duración)
- Una pulsación, color Rojo, 55ºC (2-3 horas aprox. de duración)

1.2.2 Publicaciones Científicas / Ingenieriles

Cocina Mejorada

Figure 8 Cocina Mejorada del Grupo De Apoyo Rural de la PUCP
Fuente: Portal PUCP

La cocina Mejorada, con el logo que se muestra en la figura 8, es un proyecto realizado por el Grupo de Apoyo al Sector Rural, de la PUCP. Tras su investigación previa detectaron que los pobladores de la zona, suelen dormir en la misma habitación donde se cocina a fuego abierto, pues es el lugar más cálido de la casa.

Sin embargo, debido a que sus cocinas no cuentan con evacuación de los gases al exterior de la casa, todo el humo se quedaba impregnado en las paredes de la casa, elevando la contaminación y los niveles de dióxido de carbono, generando así graves problemas respiratorios.[6]

Cabe resaltar que la cocina mejorada, aparte de ser capaz de permitir un ambiente más cálido durante las épocas del friaje, sin perjudicar su salud, tiene otros beneficios, como lo son el ahorro de combustible y un menor tiempo de cocción.

Esta mejora no requiere de piezas tecnológicas, ni energía para su funcionamiento. Se puede considerar como una mejora mecánica aprovechando los beneficios de su propia estructura.

[6] Cfr. PUCP: 2012

K'oñi Chuya Wasi (Casa Caliente)

Figure 9 Proyecto "Pared Caliente"
Fuente: Portal PUCP

Tal como se observa en la figura 9, en esta estructura se utiliza la energía del de los rayos solares para calentar el interior de la vivienda. Para su funcionamiento se requiere que la estructura este colocada en el exterior de la vivienda, la cual es básicamente una pared pintada de color negro a la cual se le realizan unos agujeros en su pate inferior y su parte superior. Luego se genera una segunda capa por encima de la pared del exterior creando una especie de caja transparente con vidrio y plástico.

El funcionamiento es bastante simple, la energía solar atraviesa sin problemas la primera capa de vidrio y plástico transparente comenzando a calentar la pared, que como es de color negro, un porcentaje mínimo de la luz rebota y la mayoría es absorbida, produciéndose un calentamiento de la pared; este calor a su vez calienta el aire encerrado entre la pared y las láminas de vidrio y plástico, lo cual crea una especie de calefactor autónomo calentando paulatinamente todo el aire de la vivienda.

Si la vivienda se encuentra cerrada lo más herméticamente posible, el aire frio ingresará a la estructura por los agujeros inferiores y regresará a la vivienda por los agujeros superiores, generándose un flujo continuo de calentamiento del aire para combatir las bajas temperaturas.

1.3 Justificación

- La solución propuesta tiene por finalidad utilizar energía solar considerando que muchas de estas familias no cuentan con instalación de subministro eléctrico, y a su vez proporcionándoles calor de una manera más sana sin comprometer su salud y poner su vida en riesgo, como sí lo representa usar sus propias cocinas, a leña o excremento, en el interior de sus casas; práctica que les genera enfermedades bronco respiratorias, dérmicas y dañan su visión.

- Este prototipo resuelve la situación problemática planteada debido a que permitirá una fuente de calor limpia y saludable.
- El desarrollo de la solución propuesta implica resolver diferentes problemas de ingeniería, como son el control de la temperatura en el recinto para neonatos, la manufactura para la creación de una cuna que sea cómoda y garantice una temperatura más estable en estos niños y la programación de un micro controlador que permita manejar el sistema prototipo.

- Se estima que el producto a desarrollar podría ser más simple y barato que las soluciones usadas encontradas en el mercado actual. Esto debido a que las soluciones que encuentra el estado y la empresa privada para apoyar a las poblaciones vulnerables durante la época de frío es la compra de frazadas y alimentos, soluciones que no son auto-sostenibles, sino que sirven de momento y no hay continuidad en su uso.

- El producto propuesto presenta un gran mercado potencial de ventas, esto debido a que este proyecto ha sido presentado como Startup y las ONGs han mostrado interés en aplicar un piloto con un prototipo a tamaño real en una comunidad especifica lo que nos permite abrir mercado tanto en organizaciones como en empresas privadas con cuotas activas de responsabilidad social.

- La solución propuesta es mucho más ecológica que los productos actuales del mercado ya que utiliza energía limpia y no genera desechos tóxicos en el proceso. Se debería concientizar a la población usuaria, que el reemplazo de baterías deberá hacerse en los puntos que se determinen para ese fin, y no desecharlos en la basura común.

- El incremento del confort térmico es una consideración que forma parte de la ley que declara de interés prioritario la aplicación del bono familiar habitacional en el área rural bajo el Decreto Supremo Nro. 008-2009-Vivienda[7]; el mismo que brinda que exista mayor financiamiento en proyectos de construcción y de investigación que mejoren la calidad de vida de las poblaciones que sufren de temporadas de frío, a través de una mejora en el confort térmico.

- En el Perú actualmente existen productos similares aunque tienen otro sector objetivo como los calentadores eléctricos los cuales se distribuyen en el mercado sin restricciones. El prototipo desarrollado en esta tesis tiene principios de funcionamiento similares al producto anterior mencionado, pero tiene un cambio en la fuente de energía que usa, que para este caso es la energía solar a través de paneles solares los cuales

[7] Ministerio de Vivienda: 2012

pueden ser fabricados y comercializados libremente en Perú por lo que no existe legislación que prohíba el uso de este prototipo.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un Sistema-Prototipo de calefacción aplicado a la cuna de un neonato que habita en regiones propensas al friaje, mediante el uso de energía solar como fuente primaria.

1.4.2 Objetivos Específicos de Implementación

- Determinar la dimensión y eficiencia energética del Panel Solar a utilizar en este proyecto.
- Calcular la capacidad energética de cada batería recargable, necesaria para proporcionar calor durante toda la noche a través de una resistencia de nicrom.
- Verificar que las salidas reales del panel solar son suficientes para el proyecto.
- Diseñar el circuito CC/CC para uniformizar la salida de tensión del panel para las baterías.
- Diseñar los controladores/reguladores de voltaje para cargar los dos tipos de batería (Batería de Gel)
- Implementar todos los circuitos esquemáticos en circuitos impresos del (Elaboración del Hardware).
- Realizar test de carga de baterías con el panel solar durante el día.
- Realizar test de calefacción con las baterías y el alambre de nicrom.
- Medir el tiempo completo de descarga de las baterías sin control de encendido en la batería de Gel.
- Diseñar el controlador de la cuna calefactable.
- Realizar pruebas con baterías, incluyendo sus controladores, y validar que se generen el calor necesario.

1.5 Breve Descripción de la Solución Propuesta

1.5.1 Funcionamiento

La figura 10 describe la Arquitectura del presente proyecto. El presente proyecto ha sido dividido en 5 estructuras que se muestran a continuación:

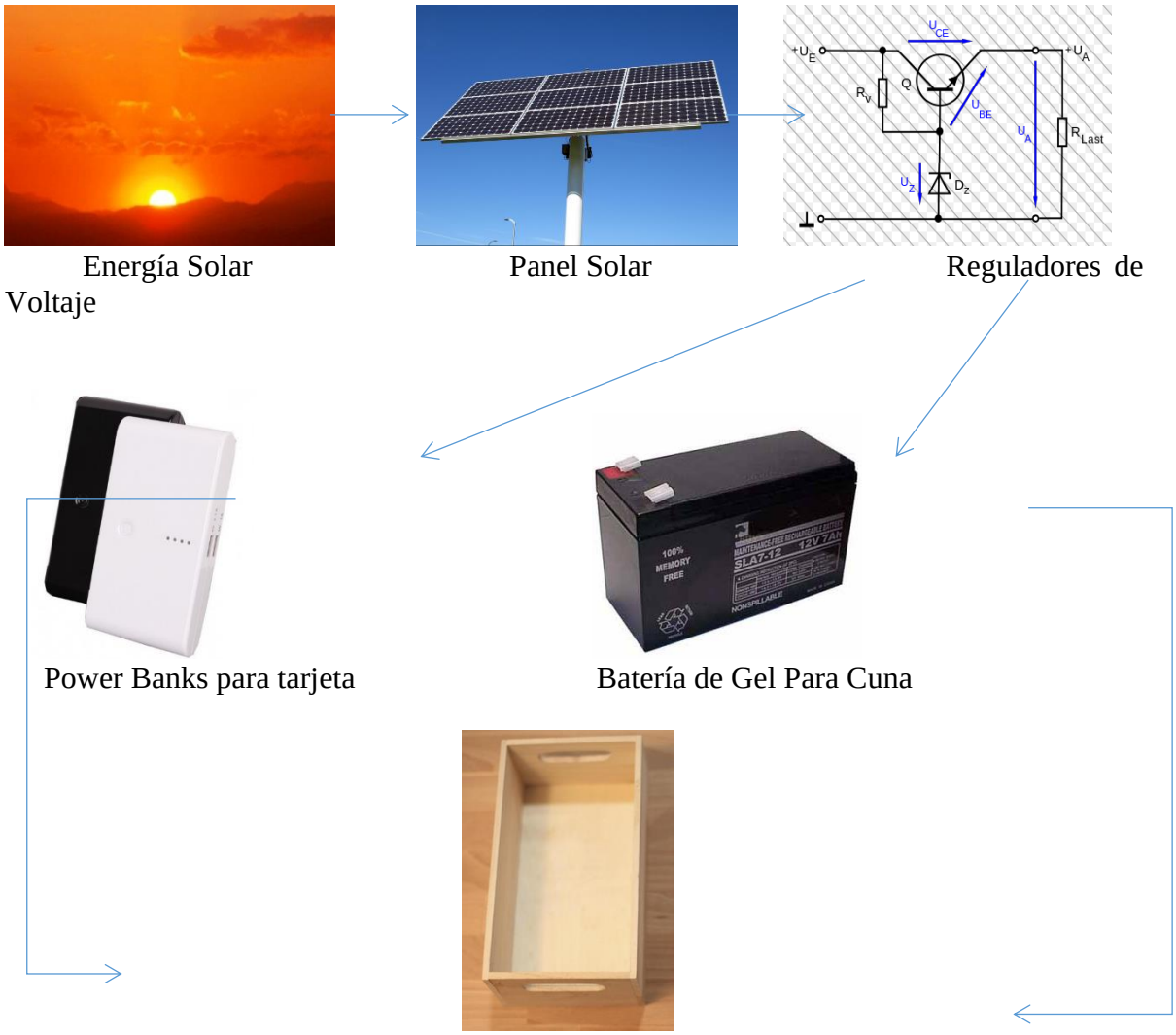


Figure 10 Diagrama General de la Arquitectura del Sistema
Fuente: Elaboración Propia

Toda la energía necesaria para el funcionamiento del sistema es proporcionada por la captación de la radiación solar en la Estación Solar. La estación solar transforma la energía solar, gracias al panel Solar instalado en su parte superior, en energía eléctrica DC; la cual pasa por las etapas de regulación de tensión y corriente para poder cargar los 2 tipos de baterías con las que se cuentan.

El primer regulador es un circuito que limita la salida a 5V/1A, la cual es necesaria para la carga del PowerBank (O banco de batería recargable) los cuales son Removibles de la estación solar, pues estas baterías solo permanecerán durante las horas de día (De recarga) en dicha estación.

El segundo regulador, es un circuito que limita la salida del Panel Solar a 13V/1A, la cual es necesaria para la batería de recargable de GEL, la cual nunca será desconectada del panel, pues su uso es proporcionar un flujo continuo de corriente a la cuna calefactable para un recién nacido, y ya que no requiere movilidad, no es necesario removerla; además, de esta forma, se garantiza que apenas se alcance un nivel de tensión óptimo capaz de cargar esta batería, la recarga se ejecutará sin demora alguna así sea por olvido de las personas que habitan en la vivienda, lo cual es crucial tratándose de mantener a una temperatura constante al neonato.

El control en la cuna del neonato, debido a requerimientos precisos en el control, se realizará con ayuda de un micro controlador, un sensor de temperatura: LM35 y un actuador: resistencia de nicrom.

1.5.2 Limitación de la solución

Dentro de las ventajas que presentamos con la siguiente tesis respecto a otras soluciones relacionadas, son las siguientes:

- El dispositivo implantado en la cuna calefactable, se carga utilizando energía solar por lo que no es necesario contar con una instalación de red eléctrica para poder hacer uso de este sistema; sin embargo, la carga de las baterías que alimentarán a la cuna prototipo requiere entre 10 a 12 horas de carga durante el día.
- El circuito que acompaña la batería cuenta con un controlador/regulador que permite, debido a la correcta racionalización de la energía almacenada, disponer con más horas de calor.
- El costo de fabricación es menor en comparación con los productos presentes en el mercado actual.
- En un futuro se podría reemplazar las baterías recargables por otras de mayor capacidad, incrementando así significativamente el tiempo de uso.
- La estación solar necesaria para el funcionamiento de este sistema, puede proveer de energía a la familia en las otras épocas del año donde no se presenta el friaje.

Así mismo, es importante aclarar que nuestro prototipo será desarrollado con las siguientes restricciones con respecto a otros productos relacionados.

- El material usado en los productos existentes es de mejor calidad en cuanto al tipo de tela usada. Esto se refiere específicamente a los productos – ropa – de invierno para snowboard que son hechos de plumas, polar y son hechos de materiales herméticos e impermeables.
- El tiempo de carga total de las baterías podría variar según el nivel de radiación solar. La radiación solar es diferente en cada zona pero en rasgos generales las zonas alto andinas cuentan con valores óptimos para el desarrollo del prototipo[8].
- Requiere de la instalación de una estación solar para el funcionamiento del sistema en las zonas alejadas de la sierra, donde no se cuenta con energía eléctrica. La estación solar consiste en un panel solar de por lo menos 100 Watts, junto con el conexionado requerido para poder cargar las baterías y una base que permite ubicar al panel en el mejor ángulo respecto al sol.
- Las baterías podrían reducir su tiempo de vida al estar expuestas a bajas temperaturas por largos períodos.
- El proyecto se limita a las zonas con un alto índice de radiación de energía solar. (basándonos en el Atlas de Energía Solar Del Perú).

1.5.3 Resultados esperados

- Se espera completar el diseño e implementación del sistema prototipo que permita mejorar la calidad de vida de las poblaciones vulnerables que sufren las bajas temperaturas usando energía solar en cuna calefactable.
- Completar la elaboración de la estación solar y la cuna calefactable, así como sus tarjetas controladoras.
- Validar el consumo energético de la cuna calefactable, así como la de sus fuentes de energía usando panel solar.
- Validar que la radiación solar en la zona de friaje es la que se requiere para mantener el prototipo funcionando por todo el día, lo que incluye las validaciones de carga y descarga de las fuentes de energía usadas y compararlas con el índice de radiación en Lima para poder validarlas.
- Reducir el costo económico que implica la implementación de este sistema prototipo comparado con las soluciones ya existentes.

[8] MINEM: 2007

1.6 Aplicaciones y usuarios potenciales del producto

Se utilizará este sistema de calefacción personal en cada miembro de las familias para contrarrestar la inclemencia del clima, en donde la temperatura desciende varios grados bajo cero durante la noche y compromete la vida de las personas; siendo la causa de muchas muertes, y el principal desencadenante de muchas enfermedades respiratorias.

A su vez, este proyecto se puede usar por extensión, en los puestos de vigilancia de las zonas alto andinas, que también presentan el mismo inconveniente ante el frío.

1.7 Viabilidad

1.7.1 Viabilidad técnica

Para el desarrollo del proyecto se cuenta con los conocimientos suficientes en microcontroladores, diseño de circuitos, electrónica de potencia, manufactura, ingeniería de control, además se disponen de sólidos conocimiento en ingeniería de energías renovables.

Dichos conocimientos serán los necesarios para la elaboración del prototipo, tanto el Hardware como Software.

Otro de los conocimientos importantes que se requieren para el proyecto radica en los métodos de almacenamiento de energía a través de las baterías de gel así como los power bank así como su tiempo de carga y descarga. Estas baterías también están disponibles y para el caso de las baterías de menor tamaño y peso estas pueden ser importadas desde China donde se tiene la mayor variedad de baterías con mayor poder de almacenamiento de corriente versus tamaño y precio.

El siguiente de los conceptos que debemos tener claro son los circuitos integrados que serán usados en el diseño de las tarjetas de control de los dispositivos a ser desarrollados, así como el conocimiento sobre control proporcional, integral y derivativo PID que nos permitirá poder brindar calor en la medida necesaria según el clima en el que se encuentren y mantener dicha percepción de calor a lo largo de las actividades que realicen diariamente. Para volcar este análisis al controlador real se requieren de temporizadores y micro controladores por lo cual debemos tener conocimiento de su programación y aplicaciones.

La infraestructura para el desarrollo y ensamblaje del prototipo se llevará a cabo en los laboratorios de Electrónica de la UPC, por lo que se cuentan con el equipamiento necesario para los test y mediciones.

1.7.2 Viabilidad económica

Para la implementación del sistema prototipo desarrollado se calcularon los siguientes costos mostrados en la Tabla 1.

Table 1 Costos de implementación del Sistema prototipo
Fuente: Elaboración propia

Ctdad.	Hardware/ Componente	Precio Unit.	Precio Total
1	Panel Solar de 100 Watts	500.00	500.00
1	Estructura de Estación Solar	150.00	150.00
1	Power Bank 30000 mA	75.00	75.00
1	Batería de gel 12 V 7Ah	60.00	60.00
1	Prototipo de cuna (incluye mano de obra)	60.00	60.00
1	Faja elástica	6.00	6.00
1	Metro de tela polar	10.00	10.00
1	Hilo de coser	3.00	3.00
1	Cinta de teflón	5.00	5.00
1	Cinta aislante	5.00	5.00
3	Metros de Resistencia de Nicrom	1.60	4.80
2	Conectores USB	1.00	2.00
5	Metros de cable multifilar	1.00	5.00
1	CI de Puente H	15.00	15.00
1	Tarjeta de control de cuna	55.30	55.30
1	Tarjeta reguladora a 5V	26.20	26.20
1	Tarjeta reguladora a 13.8V	43.82	43.82
		Costo Total en Soles:	**1026.12**

Además, en la Tabla 2 se muestran los costos detallados de la tarjeta controladora de la cuna calefactable.

Table 2 Costo de tarjeta de control de cuna calefactable
Fuente: Elaboración propia

Ctdad.	Tarjeta de control de cuna	Precio Unit.	Precio Total
2	Resistencias	0.05	0.10
2	Condensadores cerámicos	0.10	0.20
1	Cristal 4MHz	0.50	0.50
1	PIC 16F877A	14.00	14.00
1	Bornera	0.50	0.50
1	Display LCD (opcional)	14.00	14.00

1	Circuito impreso en fibra de vidrio (incluye soldado y armado)	20.00	20.00
		Costo Total en Soles:	**49.30**

Así como el costo de las tarjetas reguladoras de voltaje a 5V (Tabla 3) y a 13.8 V (Tabla 4).

Table 3 Costo de tarjeta reguladora a 5 V
Fuente: Elaboración propia

Ctdad.	Tarjeta reguladora a 5V	Precio Unit.	Precio Total
2	Resistencias	0.05	0.10
1	Potenciómetro	0.50	0.50
1	Bobina toroidal	3.00	3.00
2	Condensadores electrolíticos	0.50	1.00
1	Condensador cerámico	0.10	0.10
2	Borneras	0.50	1.00
1	Diodo	2.00	2.00
1	CI 34063	3.50	3.50
1	Circuito impreso en fibra de vidrio (incluye soldado y armado)	15.00	15.00
		Costo Total en Soles:	**26.20**

Table 4 Costo de tarjeta reguladora de 13.8 V
Fuente: Elaboración propia

Ctdad.	Tarjeta reguladora a 13.8V	Precio Unit.	Precio Total
11	Resistencias	0.05	0.55
1	Potenciómetro	0.50	0.50
1	Bobina toroidal	3.00	3.00
3	Condensadores electrolíticos	0.50	1.50
3	Condensador cerámico	0.10	0.30
2	Borneras	0.50	1.00
1	Diodo	2.00	2.00
1	CI 34060	14.00	14.00
1	TIP 32	1.00	1.00
1	Circuito impreso en fibra de vidrio (incluye soldado y armado)	20.00	20.00
		Costo Total en Soles:	**43.85**

1.7.3 Viabilidad social

Socialmente, el impacto de la temperatura extrema en temporadas de frío en las zonas anteriormente mencionadas cala en la salud de familias y en su alimentación, por la baja ingesta de calorías a consecuencia de la muerte de sus animales y la poca producción de alimentos durante esa época; generando a su vez que los niños, sobre todo los más pequeños, no se desarrollen ni crezcan saludablemente[9].

Además, si se implementa el prototipo que brinda un mayor confort térmico, esto beneficia en otros aspectos a estas poblaciones: mejor uso de las cocinas que producen humos tóxicos dentro de las casas y mejoras en la calidad de vida en general al ver que sus niños pequeños tienen menor riesgo de adquirir enfermedades bronco-respiratorias.

Dado el apoyo que se suele enviar a las zonas que sufren temporadas de friaje, es bastante viable utilizar los mismos canales de comunicación para concientizar a la población general, y así pueden aportar su ayuda económica para subvencionar la producción y distribución de este prototipo.

1.7.4 Viabilidad operativa

La operatividad del proyecto será dividida en 3 fases: 1) Funcionamiento del proceso de carga de las baterías: se requerirá pruebas de campo para validar las horas necesarias para cargar las baterías. 2) Funcionamiento de la cuna calefactable, requerirá pruebas de esfuerzo para validar que se logre mantener la temperatura óptima, según la zona, al interior del recinto y validar el tiempo de descarga de la batería; es decir, la autonomía de este subsistema.

1.8 Conclusiones y comentarios finales

- Se concluye que el prototipo brindaría una solución de gran impacto social, y aumentaría significativamente las posibilidades de supervivencia de las poblaciones que sufren esta problemática: el friaje.

- Las alternativas en el mercado son extremadamente caras para la población que sufre este problema.

- El hardware necesario para tratar la energía que alimenta este prototipo: estación solar, es completamente escalable, y puede ser de más beneficio para la población durante las otras estaciones del año.

[9] CARE: 2010

2 MARCO TEÓRICO

En el primer capítulo se describieron los aspectos fundamentales e introductorios para la realización del proyecto. Este capítulo contiene información sobre los conceptos requeridos para el entendimiento y su realización, se incluye contenido teórico de todas las etapas del proyecto, desde la colección y almacenamiento solar, los sensores y controladores de temperatura, y los elementos usados para el prototipo de la cuna térmica.

2.1 Energía Solar

La fuente de energía más constante con la que cuenta nuestro planeta es la proveniente del sol, que alcanza en promedio 1.361 W/m2 [NASA, 2005] en la capa exterior de la atmósfera. La energía recibida en la superficie de la tierra se conoce como irradiada, energía que depende de la hora del día, la inclinación de los rayos del sol y la cobertura de las nubes.[10]

De esta manera, la energía solar es el recurso energético más abundante en la Tierra, la superficie del planeta en una hora recibe el equivalente al total de energía consumida por todos los humanos en un año.

> "En este sentido, el uso de la radiación solar es hoy en día una de las metas más codiciadas en el campo de las innovaciones tecnológicas, que buscan obtener nuevas fuentes de energía para hacer del desarrollo económico una actividad sustentable." (UTA 2012)

La radiación solar es una fuente permanente de energía natural que ofrece un gran potencial para una amplia variedad de aplicaciones, debido a que sus mayores ventajas son la abundancia y accesibilidad. Los países desarrollados llevan adelante activas políticas de promoción de estos usos de la energía solar, tendiendo a transformarla en alternativas económicamente viables y adecuadamente competitivas.

> "En los países en desarrollo, es más difícil implementar estas tecnologías incipientes por las condiciones e inversiones que demandan. En este marco, es muy importante considerar alternativas que permitan usar el recurso con tecnologías que, basándose en conceptos e ideas científicas de avanzada, no requieran de inversiones iniciales

[10] UTA 2012

excesivamente elevadas. Es más, el desarrollo de estos métodos que, por los beneficios que aportan a las poblaciones rurales de bajo ingresos socioeconómicos, debería ser una prioridad de parte de las políticas estatales en los países en desarrollo." (SCIELO: 2009)

Esta energía puede ser aprovechada de diversas maneras, tanto para generar electricidad (energía eléctrica) como calor (energía térmica), pero tiene el inconveniente de que sólo se recibe durante el día, por lo que se requiere la combinación con otras fuentes de energía o bien la inclusión de sistemas de almacenamiento, como por ejemplo baterías. La energía solar puede ser transformada directamente en energía eléctrica mediante sistemas fotovoltaicos, aprovechada como calor para generación eléctrica indirectamente, mediante sistemas de concentración solar de potencia o, utilizada para calentar agua a través de colectores solares. Tanto la tecnología fotovoltaica, como los colectores solares son modulares y escalables, desde pequeños sistemas para uso domiciliario hasta grandes instalaciones para fines industriales.[11]

2.2 Irradiación Solar en el Perú

Extrayendo los mapas de la irradiación solar del Perú del ATLAS DEL PERU, provisto por el Ministerio de Energía y Minas vemos en la Figura 11 la radiación solar en enero en el Perú que la radiación en las provincias afectadas oscila entre los 5 y 7.5 kW h/ m^2.

[11] SCIELO 2009

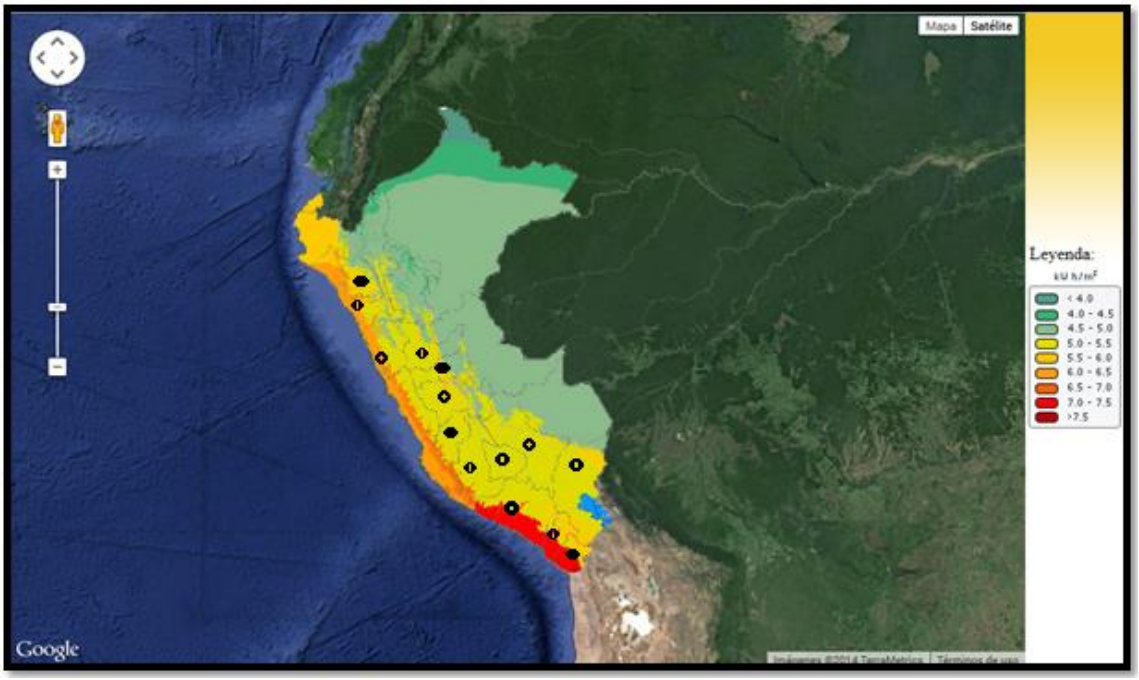


Figure 11 Radiación Solar en enero
Fuente: dger.minem.gob.pe

En tanto, en la Figura 12 vemos que la radiación solar en abril, en los departamentos más propensos a temporadas de frío (Ancash, Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Huancavelica, Huánuco, Junín, La Libertad, Moquegua, Pasco, Puno y Tacna), está entre los 5 y 6.5 k W h / m^2.

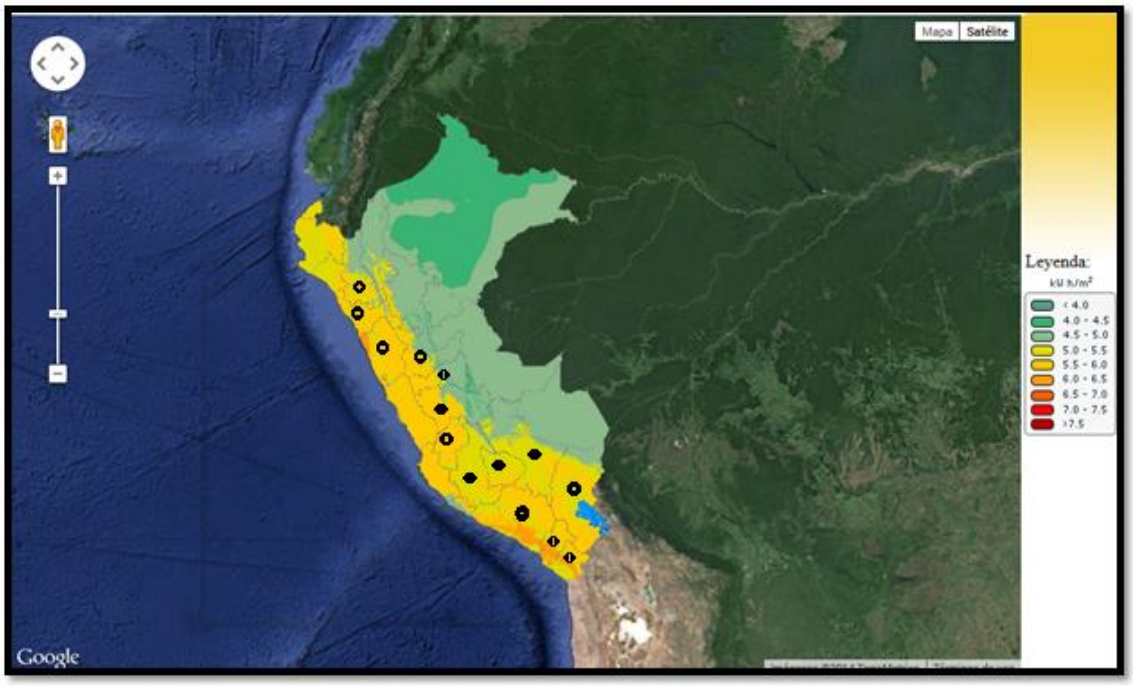


Figure 12 Radiación Solar en abril
Fuente: dger.minem.gob.pe

De igual forma en la Figura 13 vemos que la radiación solar en Julio en las zonas más afectadas oscila entre los 4.5 y 5.5 k W h / m^2 mientras que en la Figura 14 vemos en el mes de octubre la radiación está entre los 4.5 y 7.5 k W h / m^2.

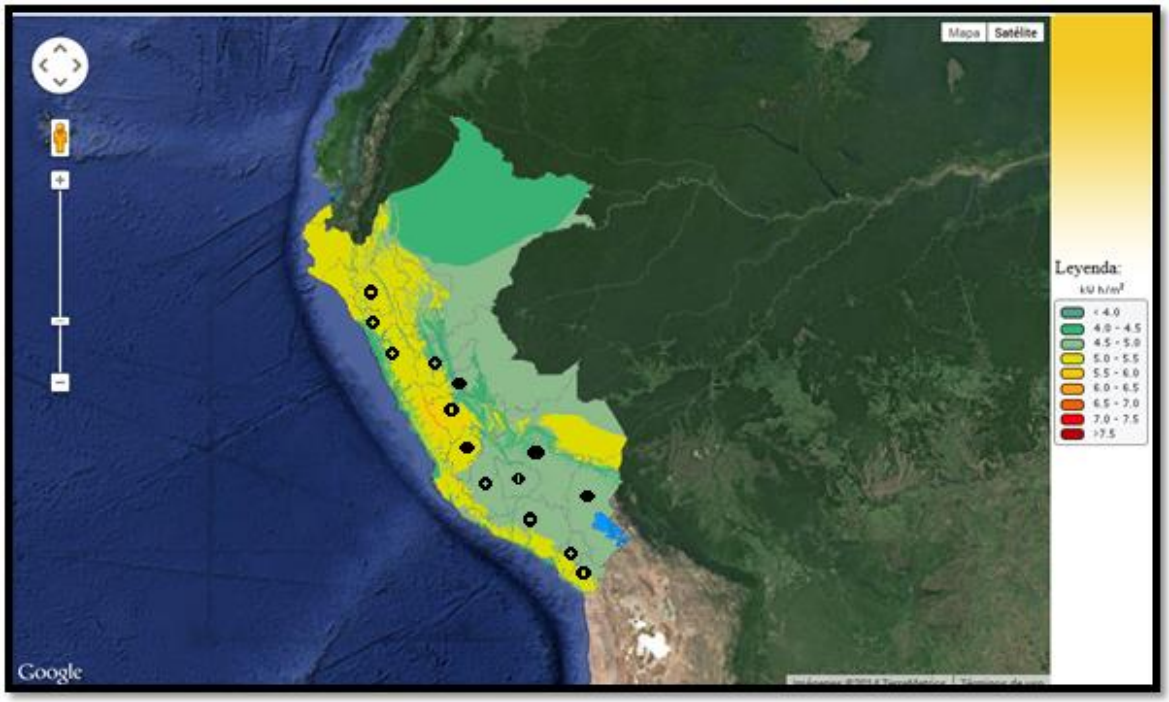


Figure 13 Radiación Solar en julio
Fuente: dger.minem.gob.pe

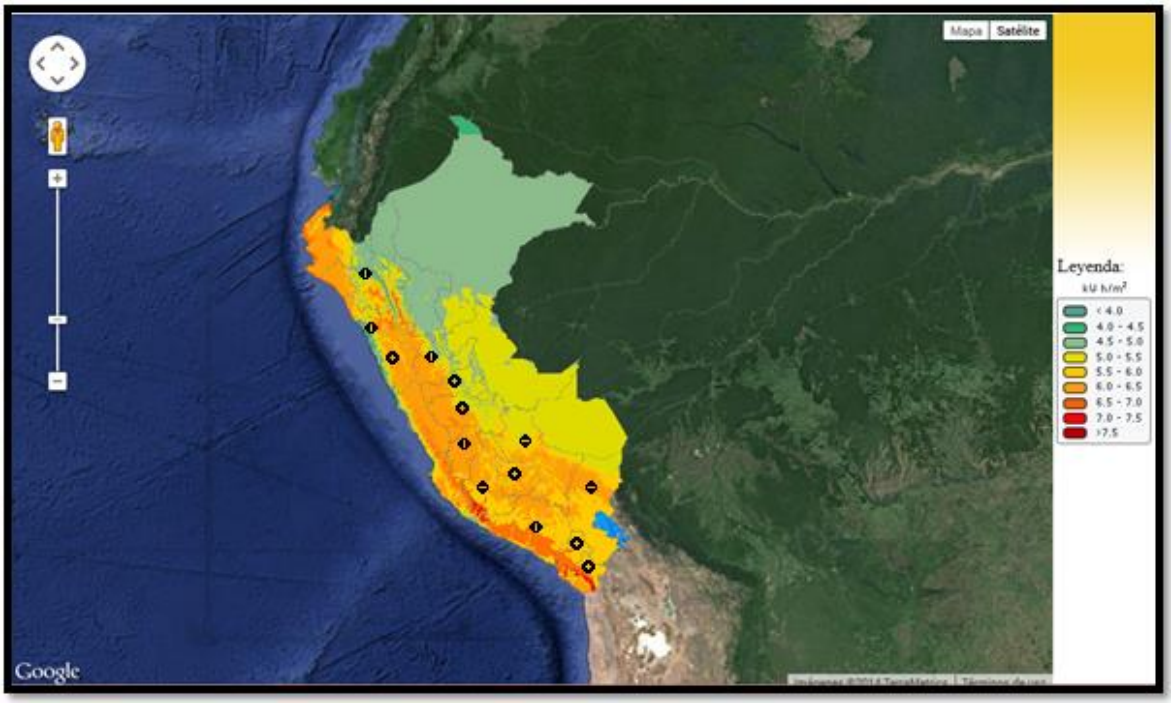


Figure 14 Radiación Solar en octubre
Fuente: dger.minem.gob.pe

2.3 Conversión de luz solar en energía eléctrica

2.3.1 La celda solar

La conversión directa de la luz solar en energía eléctrica se consigue mediante las celdas solares por un proceso llamado efecto fotovoltaico (FV). Para comprender este efecto, se considera a continuación la forma en que se construyen las celdas solares y los procesos internos que permiten la generación de una corriente eléctrica a partir de la radiación solar incidente sobre dichas celdas. La figura 15 muestra el interior de una celda solar.

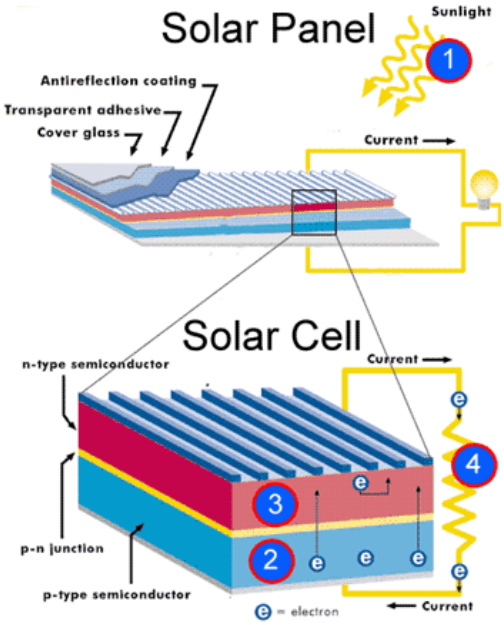


Figure 15 Celda solar
Fuente: Perez 2003

La celda solar posee una estructura similar a la de un diodo, y como tal, los principales componentes que conforman su estructura interna son los materiales semiconductores. Están compuestas básicamente por una capa de semiconductor tipo N y otra capa de semiconductor tipo P.

Los materiales en general pueden clasificarse en conductores, aislantes y semiconductores, de acuerdo con su conductividad eléctrica. La conductividad eléctrica indica el grado de movilidad que presentan los electrones dentro de una sustancia específica.

Los electrones que pueden generar una corriente eléctrica en un material son los que se encuentran en las órbitas exteriores o banda de valencia de los átomos, que tienen menor fuerza de atracción por parte del núcleo y pueden ser liberados de la misma al aplicar una diferencia de potencial al material. Para ser liberado de la fuerza de atracción del núcleo del átomo, la energía suministrada al electrón por el campo eléctrico generado por una diferencia de potencial, deberá ser suficiente para que este salte de la banda de valencia sobre la llamada banda prohibida, hacia la banda de conducción. La figura 16 muestra la disposición de estas bandas en materiales conductores, aislantes y semiconductores.

En materiales conductores las bandas de valencia y de conducción se traslapan por lo que los electrones de la banda externa de valencia tienen mucha movilidad, y pueden saltar de átomo a átomo, aún a la temperatura ambiente. El valor de la conductividad (inversa de la resistividad) es elevado en estos materiales.

En materiales aislantes, aun cuando se apliquen voltajes elevados a la estructura del material, la fuerza que se ejerce sobre los electrones de la órbita externa no es suficiente para permitir que estos atraviesen la banda prohibida y puedan establecer una corriente.[12]

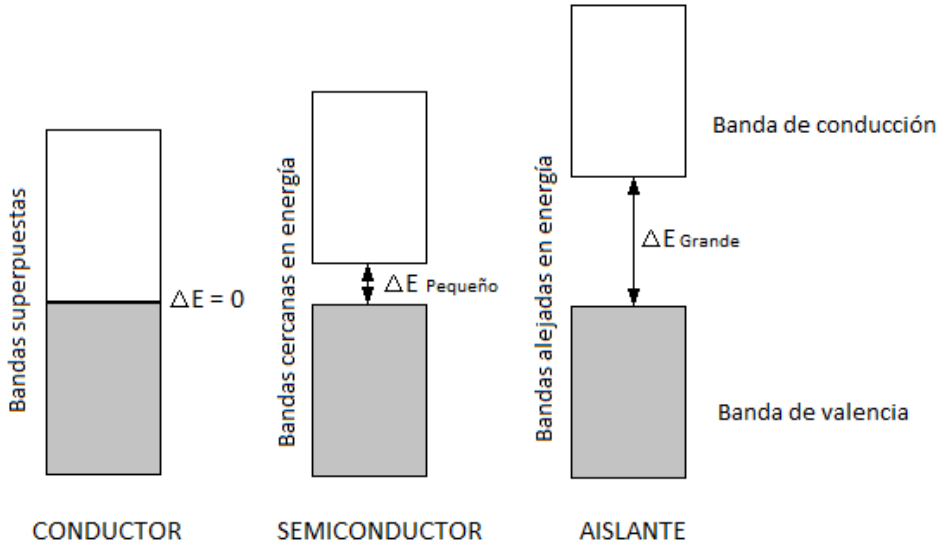


Figure 16 Tipos de Materiales
Fuente: www.quimitube.com

[12] Cfr Prado 2008 : 7

Los materiales semiconductores presentan características intermedias entre conductores y aislantes, el nivel de energía necesario para que los electrones crucen la banda prohibida en estas sustancias es mayor que el necesario en un conductor pero no tan elevado como en el caso de un aislante. El salto de energía entre una banda y otra en un semiconductor es pequeño, por lo que suministrando energía pueden conducir la electricidad y su conductividad puede regularse, puesto que basta disminuir la energía aportada para que sea menor el número de electrones que salte a la banda de conducción; cosa que no puede hacerse con los metales, cuya conductividad es constante o poco variable con la temperatura.

> "Se puede conseguir un efecto de conversión fotovoltaica en todos los semiconductores; aunque los semiconductores más aptos para la conversión de luz solar son los más sensibles, es decir, aquellos que dan el mayor producto de corriente-voltaje para luz visible (la mayor cantidad de energía transmitida por los rayos solares está en las partes visibles del espectro)." (Prado 2008: 9-10)

El silicio es el más importante material semiconductor para la conversión fotovoltaica de energía solar. En su forma cristalina pura, este material presenta pocas cargas libres en su interior y una resistividad alta. Mediante un proceso llamado difusión se puede introducir pequeñas cantidades de otros elementos químicos, que permiten decrecer el valor inicial de resistividad y crear simultáneamente una región tipo p y una región tipo n, de modo de que se produce una unión p-n.

Un átomo del silicio tiene 4 electrones de valencia, que enlazan a los átomos adyacentes. Substituyendo un átomo del silicio por un átomo que tenga 3 o 5 electrones de la valencia producirá un espacio sin un electrón (un agujero), o un electrón extra que pueda moverse más libremente que los otros. La creación de agujeros, es alcanzada mediante la incorporación en el silicio de átomos con 3 electrones de valencia, generalmente se utiliza boro. La creación de electrones adicionales es alcanzada incorporando un átomo con 5 electrones de valencia, generalmente fósforo. Este proceso de dopado puede visualizarse en la figura 17.

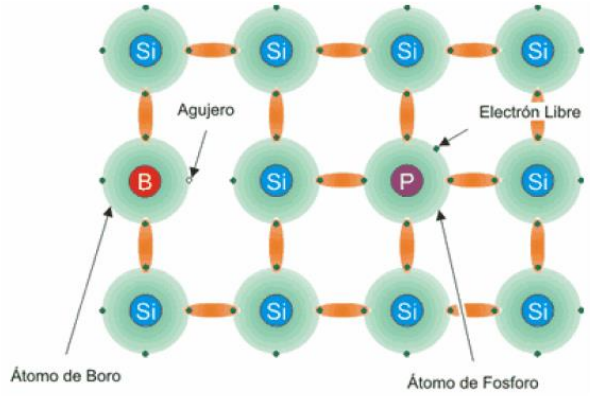


Figure 17 Dopaje del Silicio
Fuente: www.textoscientificos.com

En la figura 18, se observa un diagrama de la forma en que se construyen generalmente las celdas solares.

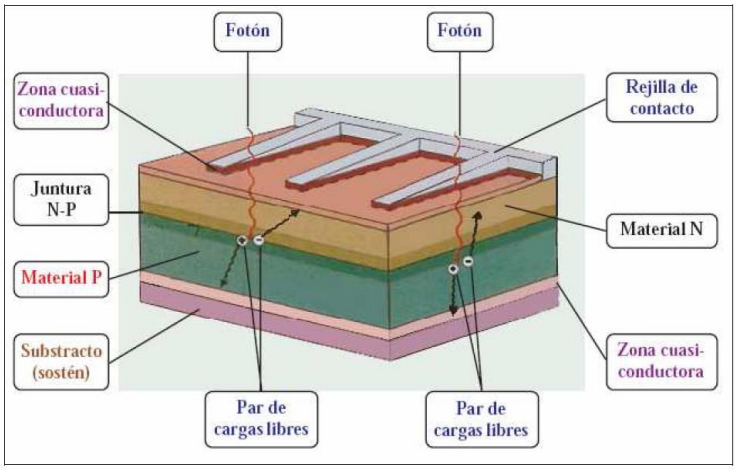


Figure 18 Porción de una Celda FV
Fuente: www.enforce-een.eu

Se observa que los principales componentes de la celda FV son las capas adyacentes de materiales semiconductores tipo P y tipo N que se unen en una zona denominada juntura.

Las cargas mayoritarias en cada semiconductor (electrones de un lado y huecos del otro) no permanecen inmóviles al realizar la juntura, sino que se desplazan hacia la zona adyacente, donde la concentración es baja. Este desplazamiento de cargas acumula cargas positivas en la zona N y negativas en la zona P, creando una diferencia de potencial en la juntura, la que

establece a su vez un campo eléctrico en esta zona. El proceso migratorio de las cargas continúa hasta que se alcanza un estado de equilibrio, tal como se muestra en la figura 19.

> "Cuando la luz solar que incide sobre la zona adyacente a la juntura tiene el espectro y nivel de energía requerido por el material, las cargas eléctricas creadas por la luz mediante el efecto fotoconductor serán separadas por la por la barrera en cargas positivas en un lado y cargas negativas en el otro, creando una diferencia de potencial entre ambas. Este voltaje es capaz de conducir una corriente a través de un circuito externo de modo que permite producir trabajo útil." (Prado 2008: 12)

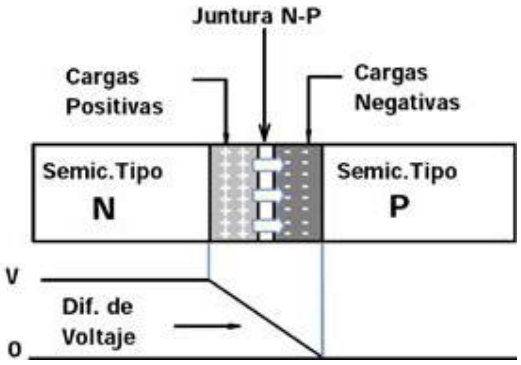


Figure 19 Juntura N-P
Fuente: http://web.uchile.cl

El voltaje generado en la juntura depende del semiconductor empleado. Para las células de silicio este valor es de alrededor de 0,5 V. Como en la unión p-n se genera un campo eléctrico fijo, el voltaje de una celda FV es de corriente continua. La potencia eléctrica generada por la celda FV en un determinado instante, está dado por los valores instantáneos del voltaje y la corriente de salida. El valor de la corriente dependerá del valor de la carga, la irradiación solar, la superficie de la celda y el valor de su resistencia interna.[13]

La superficie del material semiconductor expuesta a la luz tiende a reflejar hasta el 30% de la luz incidente, lo que reduce la eficiencia de conversión de la celda. Para disminuir esta reflectancia, sobre la superficie de la celda se coloca una película de material antireflectante.

[13] Cfr. Prado 2008 : 13

2.3.1.1 Tipos de celdas solares FV

Las celdas solares de silicio se elaboran utilizando planchas monocristalinas, planchas policristalinas o láminas delgadas. Se unen capas de silicio tipo p y silicio tipo n, a través de una capa de barrera, que es esencial para el efecto fotovoltaico.

Las planchas monocristalinas se cortan de un lingote monocristalino que se desarrolla a aproximadamente 1400°C, lo que resulta en un proceso muy costoso. El silicio debe ser de una pureza muy elevada y tener una estructura cristalina casi perfecta.[14] Las planchas policristalinas se realizan por un proceso de moldeo en el cual el silicio fundido es vertido en un molde y se lo deja asentar. Entonces se rebana en planchas.

Como las planchas policristalinas son hechas por moldeo implican menores costos de producción, pero no son tan eficientes como las celdas monocristalinas. El rendimiento más bajo se debe a las imperfecciones en la estructura cristalina, resultado del proceso de moldeo.

El otro tipo corresponde a las células amorfas. Como su nombre lo indica, estas células no poseen una estructura cristalina. Precisamente esa simplificación en la estructura conduce a un abaratamiento drástico de las mismas.

Es un hecho que cuando más se aleja la técnica de fabricación de una célula FV de la estructura cristalina pura, más defectos estructurales aparecerán en la sustancia semiconductora, los que aumentan la cantidad de cargas libres que son atrapadas, disminuyendo la eficiencia de conversión.

Otro tipo de celda existente en el mercado considera el hecho de que en el semiconductor empleado en la construcción de la misma, se generan cargas libres a partir de solo una parte del espectro luminoso aquella cuya frecuencia y energía es igual o mayor a la energía de función del material de la celda). Es por esto que algunas celdas solares se diseñan con multijunturas. Es decir, un conjunto de celdas individuales de distintos materiales, con una sola juntura, que se apilan de forma que la primera celda captura los fotones de alta energía y deja pasar el resto, para que sean absorbidos por las demás células que requieren niveles

[14] Cfr. Prado 2008 : 14

de energía más bajos. Esto permite aumentar la eficiencia de conversión pero aumenta los costos de producción.[15]

2.3.2 Paneles solares FV

2.3.2.1 Aspectos Generales

Los módulos o paneles solares fotovoltaicos están conformados por un grupo de celdas solares interconectadas entre sí y protegidas contra la intemperie, impactos y corrosión. En la figura 20 se muestra el aspecto físico de un grupo de paneles solares.

Figure 20 Panel Solar
Fuente: www.mayoristasolar.com

Como se observa, el conjunto de células está cubierto por elementos que le confieren protección frente a los agentes externos y rigidez para acoplarse a las estructuras que los soportan. Los principales elementos que lo conforman son los siguientes:

- Encapsulante: Material que protege las celdas dentro del panel, debe presentar un índice elevado de transmisión de la radiación y baja degradación por efecto de los rayos solares.

- Cubierta exterior de vidrio templado: Permite que el panel resista condiciones climatológicas adversas y maximiza la transmisión luminosa, debe soportar cambios bruscos de temperatura.

[15] Cfr Prado 2008 : 15

- Cubierta posterior: Constituida normalmente por varias capas opacas que reflejan la luz que ha pasado entre las células, haciendo que vuelva a incidir otra vez sobre éstas.

- Marco de metal: Se construye generalmente de aluminio lo que asegura rigidez al conjunto. En él se encuentran mecanismos que permiten el montaje del panel sobre la estructura de soporte.

- Caja de terminales: Incorpora los bornes para la conexión del módulo.

- Diodo de protección: Impide daños por sombras parciales en la superficie del panel.[16]

El voltaje de los paneles depende del número de celdas solares que se conecten en serie y de la estructura cristalina del semiconductor usado. Los voltajes nominales son en general 12 o 24 Vdc. La vida útil de un panel solar fotovoltaico se considera que es entre 25-30 años y la eficiencia de dichos módulos se encuentra generalmente entre 9 y 15%.

La potencia nominal de los módulos indica la cantidad de energía que genera bajo condiciones nominales. Es decir, un módulo de 80 W de potencia nominal produce 80 Wh si durante una hora recibe la cantidad de radiación para la que fue diseñado. De forma que la potencia generada por el panel puede ser menor que la potencia nominal para condiciones de poca radiación solar.

El valor de corriente y voltaje necesarios para una aplicación específica se obtiene conectando paneles en paralelo o en serie.

El método de fabricación de las celdas solares determina, en gran parte, la forma geométrica de las mismas. Las primeras versiones eran redondas, versiones más recientes tienen forma cuadrada, o casi cuadrada, donde las esquinas tienen vértices a 45°. La forma cuadrada permite un mayor compactado de las mismas dentro del panel FV, disminuyendo la superficie que se necesita para colocar un determinado número de células.

[16] Cfr. Prado 16-17

En la tabla 5 se muestran los valores de eficiencia y los costos promedio de los tres tipos principales de paneles fotovoltaicos que se encuentran en el mercado.

Table 5 Eficiencia y costo de los paneles solares FV8
Fuente: SitioSolar.com

Tipo de Panel	**Eficiencia (%)**		**Costo ($ /W)**
	Máxima	**Comercial**	
Monocristalino	25	16	11.0
Policristalino	20	14	9.7
Amorfo	13	8	8.5

2.3.2.2 Orientación de los Módulos FV

Los módulos fotovoltaicos se colocan generalmente sobre los tejados o en patios. Un aspecto fundamental es cerciorarse de que ningún objeto proyecte su sombra sobre en los módulos, al menos en las horas centrales del día.

La orientación de los módulos se define a partir de dos ángulos principales:

- Ángulo azimutal de la superficie (δ): ángulo entre la proyección de la normal a la superficie en el punto horizontal y la dirección sur-norte (para localizaciones en el hemisferio norte) o norte-sur (para localizaciones en el hemisferio sur).

- Inclinación (β): ángulo entre el plano de la superficie a considerar y la horizontal.

"La máxima captación en los colectores solares con estructura y orientación fija, se logra colocando los módulos dirigidos hacia el Sur en el caso de una región en el hemisferio Norte, y hacia el Norte en el caso de ubicaciones en el hemisferio Sur (δ = 0°). Esta configuración permite balancear las posibilidades de captación entre la mañana y la tarde si se suponen características similares de radiación. Aunque una variación de hasta 30° en el azimutal puede provocar variaciones mínimas de alrededor de 1%. Con dicha orientación (δ = 0°), la máxima captación en promedio anual se obtiene inclinando los paneles un ángulo igual a la latitud de la región en que se instalan. Las variaciones en la

inclinación de ±15° respecto al ángulo óptimo produce una reducción aproximada del 2,5% en la capacidad de captación del panel." (Prado 2008: 19)

Si se desea maximizar la captación de energía en las mañanas, el panel deberá orientarse al Este ($\delta \approx -75°$) con una inclinación mayor de la acostumbrada (mayor que la 20 latitud). En lugares en que existe asimetría de radiación solar en las mañanas y en las tardes, por ejemplo, por el aumento de nubosidad en las tardes, provocan que el máximo de captación, no se logre con azimutal = 0°, sino con una orientación ligeramente hacia el Este.

En cualquier caso, es recomendable una inclinación mayor de 10°, para que el agua de lluvia pueda circular adecuadamente sobre el panel. Si se asumen algunas pérdidas, en muchos casos pequeñas, se tiene un abanico más amplio de posibilidades de orientación, lo que puede facilitar la instalación y mantenimiento de los módulos. Pero siempre debe buscarse que la orientación sea lo más cercana a la orientación que maximiza la captación anual ($\delta = 0°$, β = latitud > 10°).

2.3.2.3 Características de empleo

Cuando se deseen utilizar celdas fotovoltaicas en instalaciones prácticas, deberán tenerse en cuenta las siguientes características:

a) Corriente de cortocircuito Icc: Esta magnitud es la intensidad que circula con la celda en cortocircuito, con una iluminación determinada y fija. Su valor es directamente proporcional a la energía solar recibida, y por lo tanto a la superficie total y al nivel de iluminación.

b) Tensión de vacío Vco: Esta magnitud es la diferencia de potencial entre los bornes de la celda en ausencia de consumo, con una iluminación fija y a una temperatura determinada. Su valor depende de la juntura utilizada y varía muy poco con la intensidad luminosa.

c) Corriente óptima Im: Esta magnitud es la intensidad que circula por la celda en el punto de funcionamiento óptimo, teniendo aplicada una carga Rm de valor óptimo, elegida de modo de que la potencia eléctrica sea máxima.

d) Tensión óptima Vm: Esta magnitud es la tensión que origina la corriente óptima, al ser aplicada sobre una carga Rm de valor óptimo, elegida de modo de que la potencia eléctrica sea máxima.

e) Temperatura límite de funcionamiento: Esta magnitud ronda los 100 grados centígrados.

f) Rendimiento h: Esta magnitud es la relación entre la energía eléctrica entregada y la energía luminosa recibida. Su valor ronda el 18 %, según la tecnología constructiva de la celda.[17]

Este bajo rendimiento se explica porque aproximadamente el 57 % de la energía luminosa se refleja o se transforma en calor; y del 43 % restante, gran parte se cede nuevamente en forma de calor.

Para una aplicación específica, deben consultarse los gráficos característicos de las celdas a utilizar, que vienen dados como distintas familias de curvas en función de la temperatura y de la iluminación recibida. El examen de estas curvas permite efectuar una selección adecuada.

Estas curvas muestran que el calentamiento de las celdas provoca una disminución de su rendimiento, por lo que se deben instalar radiadores de aletas para reducir su temperatura de trabajo.

La potencia máxima de la celda se obtiene cuando la luz incide perpendicularmente a su superficie, por lo que si incide con un ángulo que no sea recto, la superficie útil disminuirá en una cantidad proporcional al coseno del ángulo correspondiente. Por lo tanto resulta importante la correcta orientación de los paneles, considerando la posición del sol en las distintas estaciones del año, de acuerdo a la latitud de la instalación.

En general, una instalación de generación con paneles solares típica tiene los siguientes componentes:

[17] Cfr Carillo y Morales 2009 : 23

1. Reguladores de tensión.
2. Desconectadores de descarga.
3. Acumuladores.
4. Convertidores CC/CA.
5. Concentradores luminosos.
6. Accesorios.

Los reguladores de tensión son aparatos diseñados para la regulación y control de la carga de los acumuladores, a los que protegen automáticamente contra las sobrecargas

Los desacopladores de descarga son aparatos que sirven para controlar el estado de descarga de los acumuladores, ya que una excesiva descarga puede provocar daños irreparables al equipo, en lo que atañe a su vida útil.

Los acumuladores generalmente son del tipo alcalino, resultando muy sensibles a la carga excesiva y su vida depende de las condiciones del mantenimiento.

Los conversores CC/CA se emplean cuando resulta necesario transformar la corriente continua generada por las celdas fotovoltaicas en corriente alterna para los consumos que utilizan ese tipo de suministro.

Los concentradores luminosos dirigen la energía solar hacia la superficie activa de los paneles. Los mismos utilizan lentes y espejos, y en muchos casos cuentan con sistemas automáticos para seguir el desplazamiento de la orientación del sol. Esta concentración mejora el rendimiento de las celdas, pues permite la utilización de superficies sensibles menores que las que se necesitarían sin su instalación, para obtener la misma potencia eléctrica.; pero también debe tenerse en cuenta que todo sistema óptico produce una pérdida de luz.

Los accesorios habituales son los compensadores de temperatura, los voltímetros y los amperímetros

En cuanto a la normalización de estos sistemas, digamos que el Comité Técnico 82 (Solar Photovoltaic Energy Systems) del IEC tuvo su última reunión en Tempe, Arizona, durante mayo de 2000, desarrollando normas para celdas de silicio comunes y de película delgada, módulos concentradores, dispositivos de almacenamiento de energía, certificación de productos y laboratorios, balance de sistemas, reguladores de tensión, etc.

2.4 Métodos de almacenamiento de energía

La energía térmica colectada es requerida por las noches, donde las temperaturas son las más bajas, por lo que se requiere de un sistema de almacenamiento de energía solar obtenida durante el día. El almacenamiento puede darse usando diferentes métodos:

- Paredes y techos, que funcionan como un sistema de termo almacenamiento ya que el colector y el acumulador son las mismas paredes y techos, que mediante radiación y convección colectan energía
- Almacenamiento con agua, a través de las termas solares usan el agua como medio de almacenamiento al intercambiar el calor.
- Pila de piedras, que usa la capacidad calorífica de las piedras apiladas para acumular el calor al circular el aire por ductos de entrada y salida durante el día.
- Baterías, que almacenan la energía eléctrica de los paneles fotovoltaicos.[18]

Debido a que el almacenamiento con agua y piedras requiere de gran volumen y son sistemas estacionarios implementados en un ligar fijo se descarta estos métodos. El método de paredes y techos presenta pérdidas consideradas y requieren de implementación en toda la vivienda por lo que también es descartada. Es así que se usarán baterías para almacenar la energía colectada.

2.4.1 Batería de Gel

Las baterías de gel se caracterizan por que los electrolitos que contienen no están en estado líquido como las baterías comunes. En estas baterías los electrolitos se encuentran inmovilizados al ser gelificados por un compuesto de silicona evitando derrames de líquido en caso la batería se rompa y haciendo que no se emanen gases al exterior por lo que no hay

[18] Cfr. Herrera 2011 : 9-11

peligro de corrosión de la batería. Esto hace que la batería de gel aumente su vida útil y se dispongan de más ciclo de carga y descarga.[19]

Las características principales de este tipo de batería son:

- Mayor duración y seguridad.
- No requieren de mantenimiento
- Funcionan en cualquier posición.
- Soportan descargas profundas y ambientes hostiles con vibraciones golpes y temperaturas considerables.
- Permiten una reserva de energía superior a la de una batería tradicional.
- Posee un auto descarga baja ya que puede conservar el 80% de su carga sin utilizarse durante 6 meses.

Las baterías de gel en recipientes monobloc, como la que usaremos, están especialmente diseñadas para aplicaciones con energía solar fotovoltaica de mediana y pequeña potencia.

2.4.2 Ciclos de una batería

Un ciclo se refiere al proceso de descarga y carga de una batería a cualquier porcentaje de descarga en la que se encuentre. La profundidad de descarga de la batería (DOD) depende su cantidad de descarga en porcentaje respecto a su capacidad cuando está totalmente cargada, y se mide en porcentaje. Es así que 30% DOD en una batería quiere decir que dicha batería ha sido descargada en un 30% de su capacidad y posee un 60% de carga del total de su capacidad. El porcentaje de DOD determina el tipo de ciclo de la batería, que puede ser: pequeño, moderado o profundo (Deep cycle).[20]

El ciclo pequeño se da cuando solo un porcentaje bajo ha sido descargado, mientras que el moderado implica un porcentaje de descarga mayor, y el ciclo profundo se da cuando la batería está descargada casi en su totalidad, o en su totalidad.

El ciclo de vida de una batería va de acuerdo al porcentaje de descarga, el mantenimiento, la temperatura, la vibración y la cantidad de descargas.

[19] Cfr. ATERSA 2014
[20] Cfr BATERIASTOTAL 2014

2.4.3 Amperes Horas (Ah)

Unidad de carga eléctrica. A 26° C, los amperes hora son la cantidad de corriente que una batería puede entregar si ésta proporciona una corriente eléctrica de 1 amperio durante 1 hora. En la figura 21 se observa la batería de gel usada en el prototipo la cual funciona a 12V y para 7 Amper hora.

Figure 21 Batería de gel
Fuente: Elaboración propia

2.5 Fuente Conmutada tipo Buck

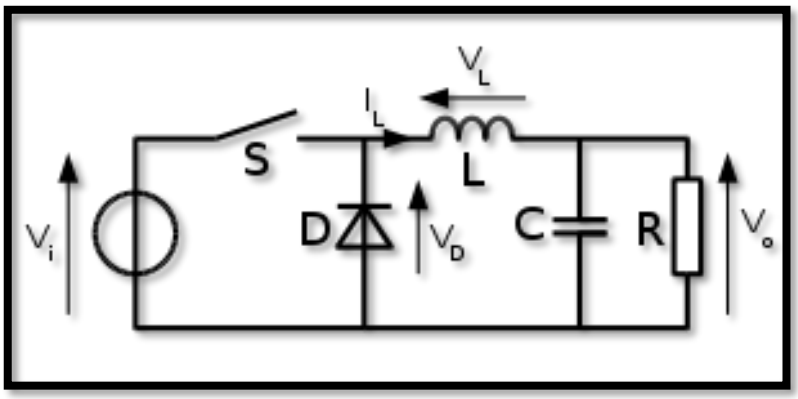


Figure 22 Esquema de Fuente Buck
Fuente: Vissim

El convertidor Buck es un convertidor de potencia como se observa en la Figura 22, DC/DC sin aislación galvánica, que obtiene a su salida un voltaje continuo menor que a su entrada. El diseño es similar a un convertidor elevador o Boost, también es una fuente conmutada

con dos dispositivos semiconductores (transistor *S* y diodo *D*), un inductor *L* y opcionalmente un condensador *C* a la salida.

La forma más simple de reducir una tensión continua (DC) es usar un circuito divisor de tensión, pero los divisores gastan mucha energía en forma de calor. Por otra parte, un convertidor Buck puede tener una alta eficiencia (superior al 95% con circuitos integrados) y autoregulación.

2.6 Funcionamiento de la Fuente Buck

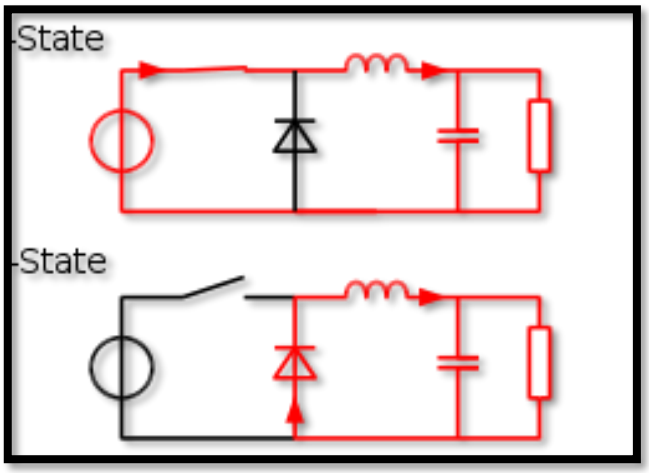


Figure 23 Estados de la fuente Buck
Fuente: Vissim

El funcionamiento del conversor Buck es sencillo, consta de un inductor controlado por dos dispositivos semiconductores los cuales alternan la conexión del inductor bien a la fuente de alimentación o bien a la carga El interruptor suele ser un MOSFET, IGBT o BJT. Esto se observa en la Figura 23 y en la Figura 24 se describen las curvas de corriente y voltaje de la fuente.

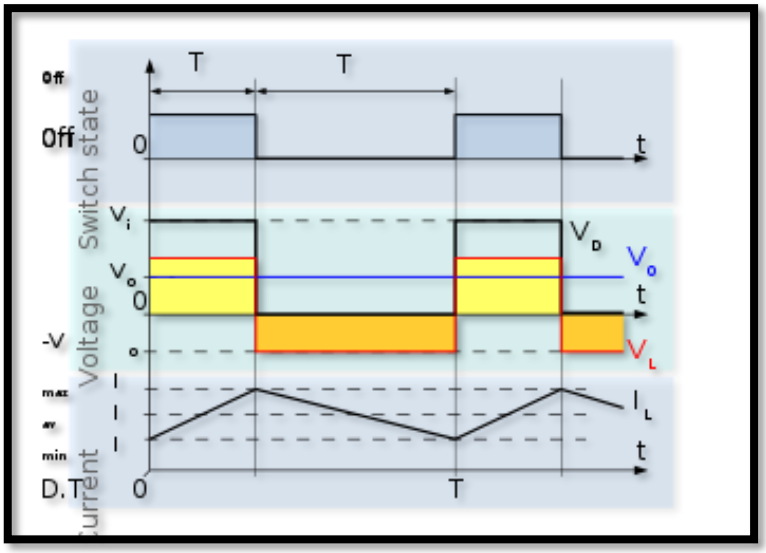


Figure 24 Curvas de Corriente y Voltaje en fuente Buck
Fuente: Vissim

El convertidor se dice que está modo continuo si la corriente que pasa a través del inductor (I_L) nunca baja a cero durante el ciclo de conmutación. En este modo, el principio de funcionamiento es descrito por el cronograma de la figura 24:

- Con el interruptor cerrado la tensión en el inductor es VL = Vi − Vo y la corriente aumenta linealmente. El diodo está en inversa por lo que no fluye corriente por él.
- Con el interruptor abierto el diodo está conduciendo en directa. La tensión en el inductor es VL = − Vo y la corriente disminuye.

La energía almacenada en el inductor es:

$$E = \frac{1}{2} L \times I_L^2 \tag{2.1}$$

Como puede verse la energía almacenada en la bobina se incrementa en estado ON (interruptor cerrado) y se decrementa durante el estado OFF (interruptor abierto). La bobina se usa para transferir energía desde la entrada a la salida.

La variación de I_L viene dada por:

$$V_L = L\frac{dI_L}{dt} \tag{2.2}$$

Con V_L igual a $V_i - V_o$ durante el estado a ON y a $-V_o$ durante el estado OFF. El incremento de corriente en ON es:

$$\Delta I_{L_{on}} = \int_0^{t_{on}} dI_L = \int_0^{t_{on}} \frac{V_L}{L}\,dt = \frac{(V_i - V_o)\cdot t_{on}}{L} \tag{2.3}$$

De la misma forma el decremento de corriente en OFF es:

$$\Delta I_{L_{off}} = \int_0^{t_{off}} dI_L = \int_0^{t_{off}} \frac{V_L}{L}\,dt = -\frac{V_o \cdot t_{off}}{L} \tag{2.4}$$

Si se asume que el convertidor opera en un estado estable, la energía almacenada en cada componente al final del ciclo de conmutación T es igual a que había al principio del ciclo. Esto significa que la corriente I_L es igual en t=0 y en t=T (ver figura 2.14).

Por lo tanto,

$$\Delta I_{L_{on}} + \Delta I_{L_{off}} = 0 \tag{2.5}$$

De las ecuaciones anteriores se obtiene:

$$\frac{(V_i - V_o)\cdot t_{on}}{L} - \frac{V_o \cdot t_{off}}{L} = 0 \tag{2.6}$$

Como se puede ver en la figura 2.14.

$$t_{on} = D \cdot T \text{ y } t_{off} = T - D \cdot T. \tag{2.7}$$

"D" es un escalar llamado ciclo de trabajo (*duty cycle*) cuyo valor está comprendido entre 0 y 1:

$$(V_i - V_o)\cdot D \cdot T - V_o \cdot (T - D \cdot T) = 0 \tag{2.8}$$

Esta ecuación puede ser reescrita como:

$$V_o = D \cdot V_i \tag{2.9}$$

De esta ecuación se puede observar como la tensión de salida del conversor varía linealmente con el ciclo de trabajo para una tensión de entrada dada. Como el ciclo de trabajo D es igual al cociente entre t_{On} y el periodo T no puede ser mayor a 1. Por consiguiente: $V_o \leq V_i$, de ahí su nombre de reductor.

Por ejemplo, para regular una tensión de 12 V a 3 V el ciclo de trabajo en un circuito ideal debe ser del 25%.

2.7 Circuito Integrado MC34060

Descripción

En la Figura 25 se observan los pines del circuito Integrado MC34060.

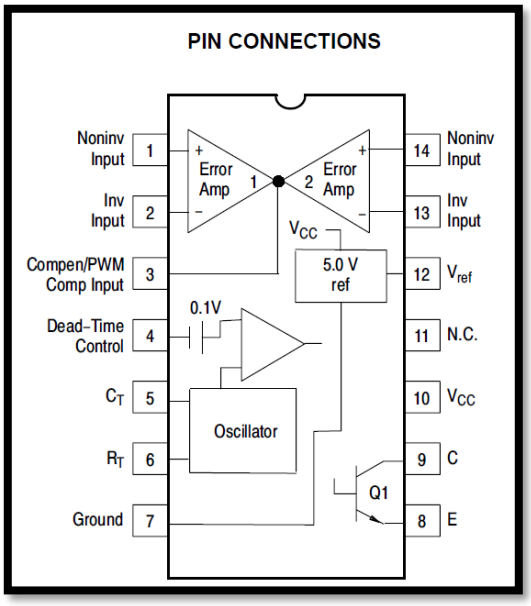


Figure 25 Vista Superior del MC34060
Fuente: Datasheet

El MC34060A es un circuito de frecuencia fija de control de modulación por ancho de impulso, la incorporación de los bloques de construcción primarias necesarias para el control de una fuente de alimentación de conmutación (Figura 26).

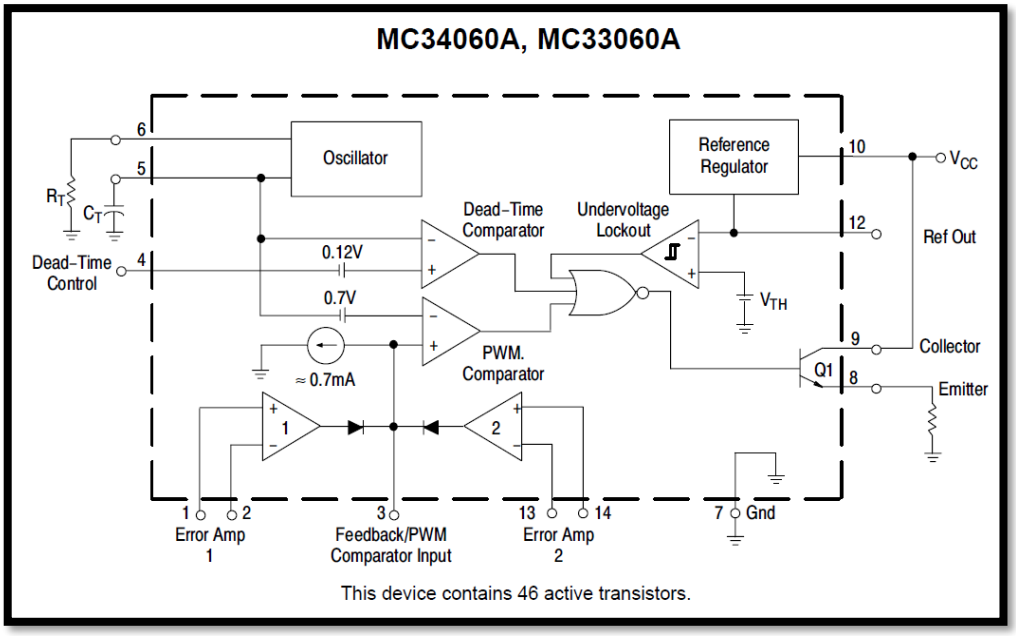


Figure 26 Vista a detalle y componentes Básicos de control
Fuente: Datasheet

Un oscilador en diente de sierra-interna lineal tiene frecuencia programable por dos componentes externos, RT y CT. La frecuencia del oscilador aproximada se determina por:

$$Fosc = \frac{1.2}{RT * CT} \tag{2.10}$$

El ancho del pulso de la salida PWM se lleva a cabo por comparación de la forma de onda de diente de sierra a través del condensador CT a cualquiera de las dos señales de control. La salida sólo se activa durante la porción de tiempo donde la tensión de diente de sierra es mayor que las señales de control. Por lo tanto, un incremento en la amplitud de señal de control provoca una disminución lineal correspondiente de salida de ancho de pulso. (Ver Figura 27).

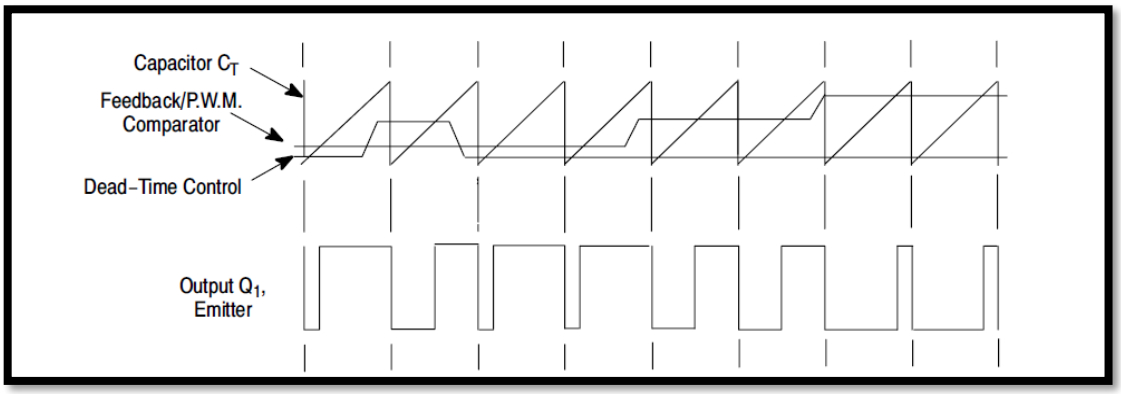


Figure 27 Diagrama de Tiempos
Fuente: Datasheet

Información de Aplicaciones

Las señales de control son entradas externas que pueden ser alimentadas por el dead–time control, las entradas del amplificador de error, o la entrada del feed -back.

El comparador de control de tiempo muerto tiene un offset efectivo de 120 mV de entrada que limita la salida mínima de tiempo muerto a aproximadamente el 4 % del tiempo del ciclo de la señal diente de sierra. Esto daría lugar a un ciclo de trabajo máximo de 96 %. Tiempo muerto adicional puede imponerse a la salida mediante el establecimiento de la entrada de control de tiempo muerto para una tensión fija, que varía entre 0 V a 3,3 V.

El comparador de ancho de pulso modulador proporciona un medio para los amplificadores de error para ajustar la anchura del impulso de salida desde el por ciento máximo en - tiempo, establecidas por la entrada de control de tiempo muerto, hasta llegar a cero, ya que el voltaje en el pin de retroalimentación varía de 0,5 V a 3,5 V. Ambos amplificadores de error tienen un rango de entrada de modo común de -0,3 V a (VCC -2.0 V), y se pueden usar para detectar la tensión de salida de fuente de alimentación y la corriente.

Las salidas de error-amplificador son activas alta y se les aplica una compuerta OR juntas en la entrada no inversora del comparador modulador de ancho de pulso. Con esta configuración, el amplificador que demanda mínima de salida a tiempo, domina el control del bucle.

El MC34060A tiene una referencia interna 5,0 V capaz de generar hasta 10 mA de corriente de carga para circuitos de polarización externa. La referencia tiene una precisión interna de + / -5 % con una desviación típica térmica de menos de 50 mV sobre un rango de temperatura de funcionamiento de 0ª C a 70 ª C.[21]

2.8 Temperatura y sus mediciones

El confort térmico siempre está presente en la vida de las personas ya sea que se encuentren en climas tropicales o invernales y para adecuarse, el organismo de las personas necesita

[21] Cfr. Datasheet MC34060 2002

mantenerse a una temperatura casi constante usando mecanismos eficaces que lo ayudan a controlar la temperatura, aunque ante climas extremos requiere de ayuda externa.[22]

A continuación, se mencionarán los conceptos que ayudarán a entender la física básica del calentamiento y el enfriamiento, teoría fundamental para esta tesis. Además, conoceremos de la temperatura y el calor, que son factores importantes a tomar en cuenta dentro de la cuna térmica que plantea la tesis, por lo que se definirán los conceptos fundamentales que servirán de base para lo posteriormente desarrollado.

2.8.1 Temperatura

Magnitud física referida a la sensación de frío o calor al entrar en contacto con algún ente o sustancia. Se usa para medir la energía cinética promedio de los átomos y moléculas individuales de una sustancia.[23]

Es así que al agregar calor a una sustancia, esto genera que sus átomos y moléculas se muevan más rápido elevando su temperatura.

Según Sears y Zemansky, "para medir la temperatura de un cuerpo colocamos un termómetro en contacto con él, al interactuar ambos cuerpos la temperatura entre ambos

se estabiliza y así leemos la temperatura". Es decir, se espera a que el sistema está en una condición de equilibrio en la cual la interacción entre el cuerpo y el termómetro ya no causa cambio en el sistema, a lo que llamamos equilibrio térmico.[24]

2.8.2 Aislamiento térmico

Si dos sistemas están separados por un material aislante, ya sea este de madera, espuma de plástico, etc., estos sistemas se afectan mutuamente con mayor resistencia[25]. La función principal del aislante térmico es retardar el equilibrio térmico entre dos sistemas y aunque idealmente dicho elemento impediría la interacción entre los sistemas, en la práctica los aislantes reales solo atrasan el equilibrio en ambos sistemas.

---

[22] Cfr. Sears 2009: 570
[23] UDEC 2007:407
[24] Sears 2009: 571
[25] Sears 2009: 571

2.8.3 Ley cero de la termodinámica

La ley cero de la termodinámica demuestra como varía la temperatura durante la interacción entre dos o más sistemas. Según Sears y Zemansky en su libro de física universitaria explican con un ejemplo esta ley de la termodinámica:

> "… Considerando tres sistemas, A, B y C, que inicialmente no están en equilibrio térmico que están dentro de una caja aislante ideal para que sólo puedan interactuar entre sí; Si separamos A y B con una pared aislante ideal pero dejamos que C interactúe tanto con A como con B a través de un conductor térmico y esperamos a que se establezca el equilibrio térmico; entonces A y B están en equilibrio térmico con C pero a la vez se encuentran en equilibrio entre sí" (Sears 2009)

Según el fragmento del libro descrito gráficamente en la figura 28, los científicos llegaron a esta conclusión separando el sistema C de los sistemas A y B con una pared aislante ideal y substituyendo la pared aislante entre A y B por una pared conductora descrito en la figura 29. En el experimento notaron que nada sucedía entre A y B por lo que se concluye que si inicialmente C está en equilibrio térmico con A y con B, entonces A y B también están en equilibrio térmico entre sí: este resultado se conoce como ley cero de la termodinámica.

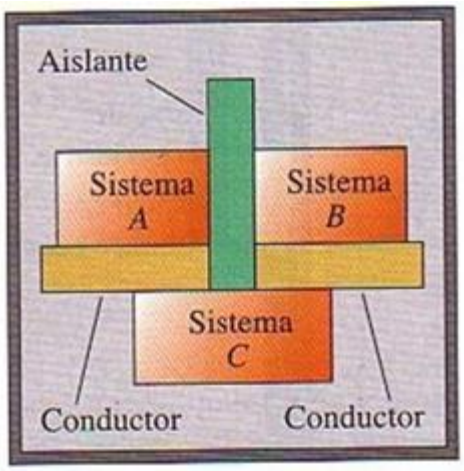


Figure 28 Ley cero de la termodinámica – A y B en equilibrio con C
Fuente: Sears y Zemanski 2009

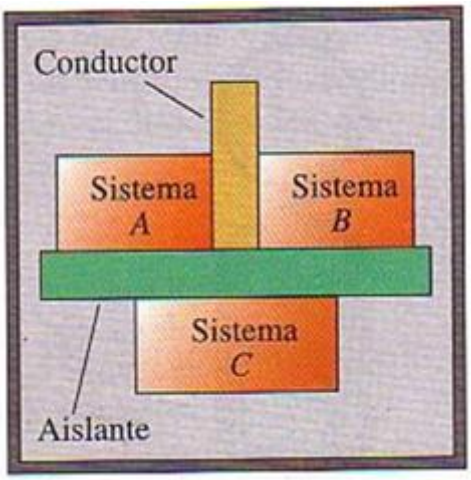


Figure 29 Ley cero de la termodinámica – A y B en equilibrio entre sí
Fuente: Sears y Zemansky 2009

2.8.4 Calor

Transferencia de energía de un cuerpo a otro al presentarse una diferencia de temperatura. El calor se define como la energía cinética total de todos los átomos o moléculas de una sustancia.[26]

2.8.5 Cantidad de calor

El cambio de temperatura que se genera en la interacción entre dos sistemas se debe a la transferencia de energía de un sistema a otro, esta transferencia se da siempre que haya una diferencia de temperatura y se denomina flujo de calor, por otro lado, la energía transferida se conoce como calor. James Joule observó que al agregar energía o trabajo sobre una sustancia esta podía aumentar de temperatura por lo que dicho aumento de temperatura es directamente proporcional a la cantidad de trabajo realizado sobre ella pero además debe implicar un intercambio de energía[27].

Una unidad de cantidad de calor se define en base al cambio de temperatura de un material específico es así que la caloría (cal) se define como la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 g de agua de 14.5° a 15.5°C. Y dado que el calor es una trasferencia de

[26] UDEC 2007:408
[27] Sears 2009: 582

energía hay una relación entre estas unidades y las de la energía mecánica las cuales se describen a continuación.

$$1\ cal = 4.186\ J \tag{2.11}$$

$$1\ kcal = 1000\ cal = 4186\ J \tag{2.12}$$

Es preciso comentar que la caloría no está considerada como unidad fundamental dentro del Sistema Internacional por lo que el Comité Internacional de Pesos y Medidas recomienda usar el joule como unidad básica de energía en todas sus formas.[28]

2.8.6 Calor específico

La cantidad de calor, cuyo símbolo es Q, necesaria para aumentar la temperatura de una masa m de cierto material es aproximadamente proporcional al cambio de temperatura y a la masa del material, pero además hay una tercera variable involucrada: la naturaleza del material. Con lo anterior mencionado se llega a la siguiente ecuación[29]:

$$\Delta T = T_2 - T_1 \tag{2.13}$$

$$Q = mc\Delta T \tag{2.14}$$

Donde:

T_1 es la temperatura inicial de la masa

T_2 es la temperatura de la masa a la que se desea llegar

Q es la cantidad de calor requerido para cambiar la temperatura de la masa m

m es la masa de cierto material

c es una cantidad diferente para cada material: es el calor específico

Se resalta que la diferencia de temperatura puede ser positiva o negativa. Si es positiva, el cuerpo entra en calor y su temperatura se incrementa mientras que si la diferencia es negativa el cuerpo libera calor y su temperatura disminuye.

[28] Sears 2009: 583
[29] Sears 2009: 584

Citando a Sears y Zemanski: “El calor específico de un material siempre depende un poco de la temperatura inicial y del intervalo de temperatura” (Sears 2009). Esto se puede observar más claramente en la figura 30 en la que se muestra la variación de la capacidad calorífica del agua en función a la temperatura.

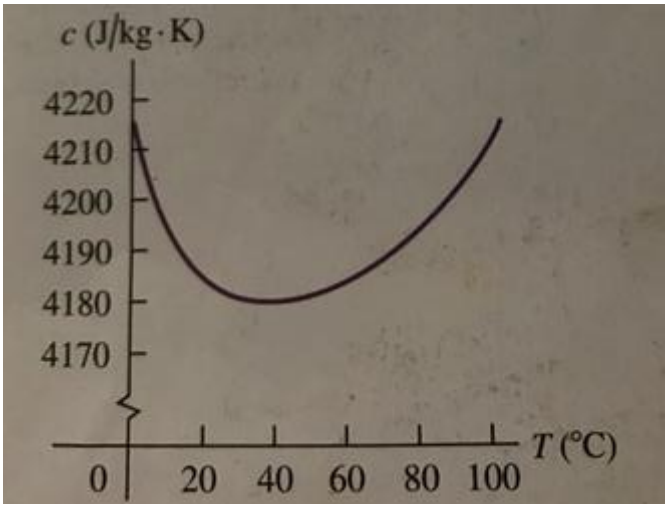


Figure 30 Capacidad calorífica del agua en función a la temperatura
Fuente: Sears y Zemansky 2009

Como se observa la diferencia de la capacidad calorífica *c* varía en menos de 1% entre 0° y 100° C por lo que variación podría ser omitida en términos prácticos.

Por último, en la tabla 6 se presentan los valores aproximados del calor específico (a presión constante)

Table 6 Tabla de calor específico de sustancias
Fuente: Sears 2009

Sustancia	Calor específico (J/kg.K)	Calor específico (Kcal/kg.°C)
Aluminio	910	0.217
Belirio	1970	0.471
Cobre	390	0.093
Etanol	2428	0.580
Hielo (cerca de 0° C)	2100	0.502
Hierro	470	0.112
Plomo	130	0.031
Mármol (CaCO3)	879	0.210
Mercurio	138	0.033
Sal (NaCl)	879	0.210
Plata	234	0.056

Agua (líquida)	4190	1.001
Aire (en condiciones típicas)	1012	0.242

2.8.7 Transferencia de calor

La transferencia de calor se produce cuando dos cuerpos entran en contacto, y se da desde el cuerpo con mayor temperatura hacia el cuerpo con menor temperatura. Existen tres formas físicas de transferir el calor: por conducción, por convección y por radiación las que se muestran en la Figura 31.

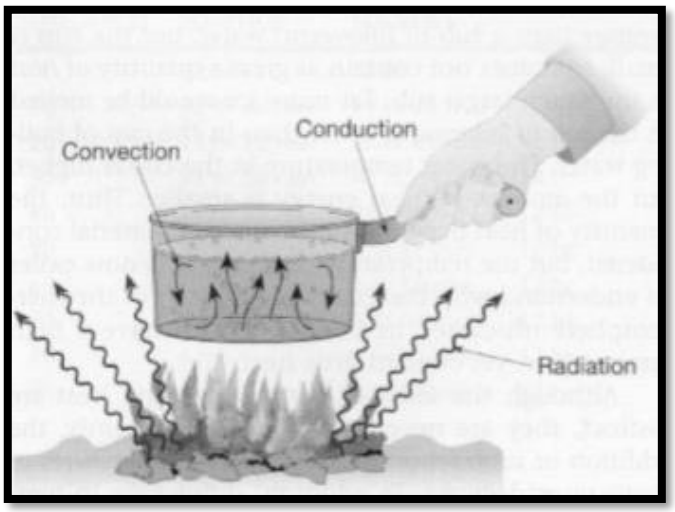


Figure 31 Formas de transferencia de calor
Fuente: UDEC 2007: 408

2.8.7.1 Conducción

Este mecanismo de transferencia se da en escala atómica a través de la materia mediante la actividad molecular que se produce cuando estas chocan entre sí. Las partículas más energéticas le brindan energía a las menos energéticas lo que produce un flujo de calor. Los metales son buenos conductores de calor, el aire es un mal conductor y es conocido como aislante. Se produce en medios sólidos, líquidos y gaseosos.[30] Esta descripción se observa gráficamente en la Figura 32

[30] UDEC 2007: 408

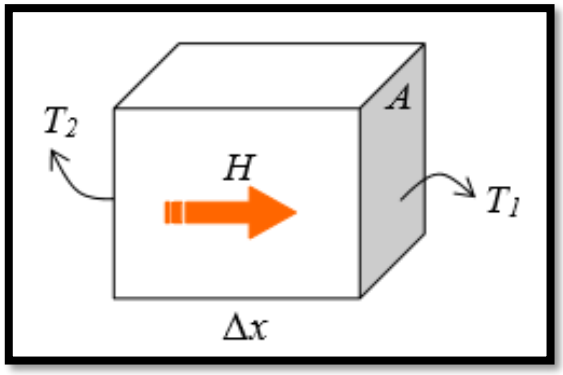


Figure 32 Conducción de calor
Fuente: UDEC 2007: 408

2.8.7.2 Convección

Este mecanismo de transferencia se da por movimiento de masa o circulación dentro de la sustancia. Se produce por la diferencia de densidades de la materia, o por medio de objetos que fuercen el movimiento de las sustancias como un ventilador que obliga al aire a moverse o una bomba que hace circular el agua. Se produce en líquidos y gases ya que los átomos y moléculas son libre de moverse en el medio.[31] La figura 33 nos muestra lo descrito en el último párrafo.

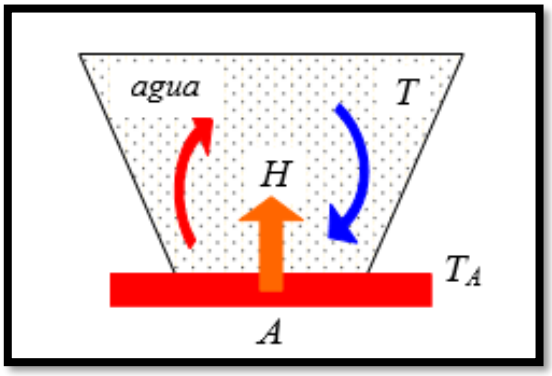


Figure 33 Convección de calor
Fuente: UDEC 2007: 412

[31] UDEC 2007:412

2.8.7.3 Radiación

Este mecanismo de transferencia se da por la energía emitida por la materia a una temperatura dada, desde la fuente hacia todas las direcciones, y es causada por los cambios en las configuraciones eléctricas de los átomos que se propagan mediante ondas electromagnéticas que no necesitan un medio material para su propagación tal como se observa en la Figura 34. Es así que la radiación electromagnética es una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes y perpendiculares entre sí, que se propagan en el espacio transportando energía de un lugar a otro.[32]

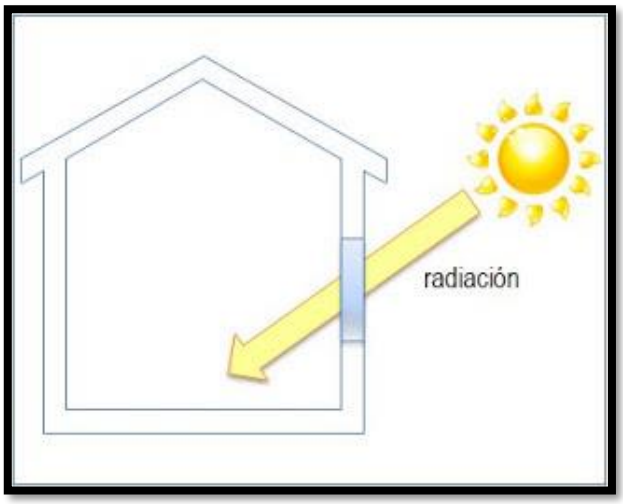


Figure 34 Radiación solar
Fuente: Jorge Fdez. 2012

Para la implementación de la cuna térmica la transferencia de calor se dará por convección, ya que al existir una diferencia de densidades al interior de la cuna entre el aire que ingresa (aire caliente) y el aire que circula y sale de la cuna, que al inicio es aire frío. La descripción gráfica se encuentra en la Figura 35 a continuación.

[32] UDEC 2007: 414

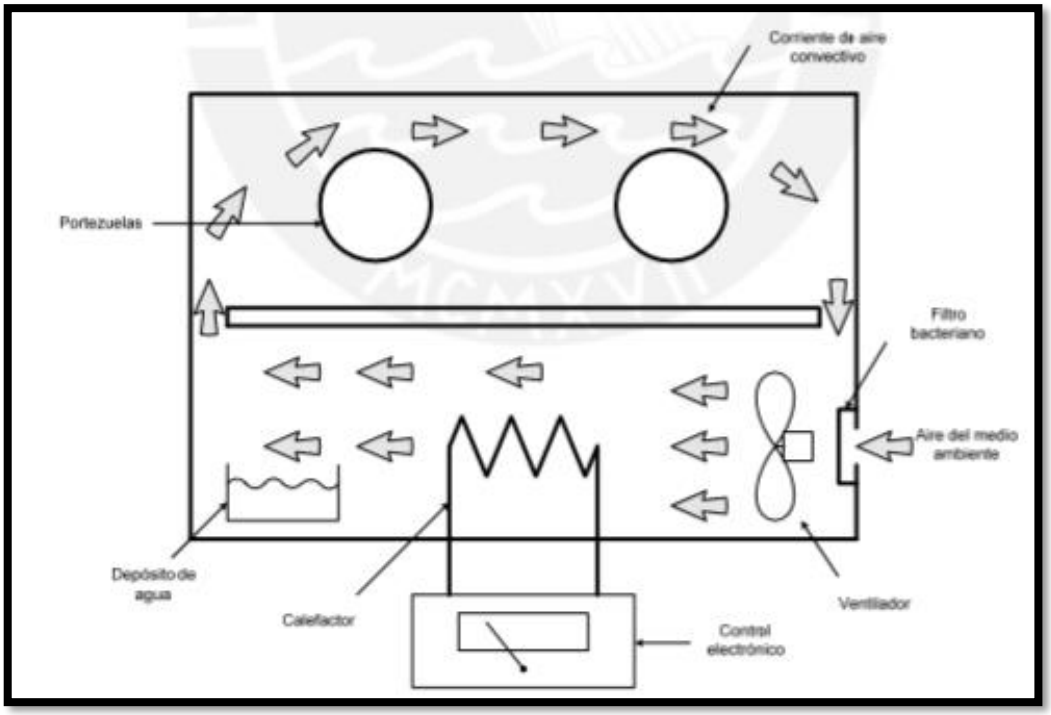


Figure 35 Flujo de aire dentro de una incubadora
Fuente: Obregón 2007: 6

2.8.8 Métodos de medición de temperatura

Una vez conocidos los conceptos referentes a temperatura se requiere conocer además, los métodos de medición de temperatura, para su posterior elección del método más apropiado para la lectura constante de los valores de medición de temperatura en la casaca y cuna térmicas.

- Dilatación y contracción de sustancias sólidas, líquidas y gaseosas: usado en los termómetros de columna líquida y los termómetros bimetálicos.
- Potencial termoeléctrico: usado en las termocuplas que se basan en la unión de dos metales diferentes sometidos a un gradiente de temperatura, lo que genera una fuerza electromotriz (fem).
- Radiación electromagnética: usado en los pirómetros infrarrojos y ópticos que usan los fenómenos de radiación para medir la temperatura.
- Variación de resistencia eléctrica: usado en termistores y termómetros de resistencia eléctrica (PT100) y se da calcular la variación de resistencia eléctrica con la temperatura.[33]

[33] Obregón 2007: 7

2.8.9 Termistor

"Los termistores son dispositivos semiconductores hechos de material cerámico cuya resistencia varía con la temperatura" (Obregón 2007: 10)

Los termistores presentan grandes coeficientes de temperatura y pueden ser NTC o PTC. Los NTC aumentan su resistencia cuando la temperatura disminuye, mientras que los PTC, también llamados posistores, aumentan su resistencia cuando la temperatura aumenta.

Los materiales con que se fabrican los termistores NTC pueden ser mezclas sintetizadas de sulfatos, selenio, óxidos de níquel, manganeso, hierro, cobalto, cobre, magnesio, titanio, uranio, y otros metales. Los PTC son fabricados de bario sintetizado y mezclas de estroncio y titanio, la figura 36 muestra el detalle del termistor.

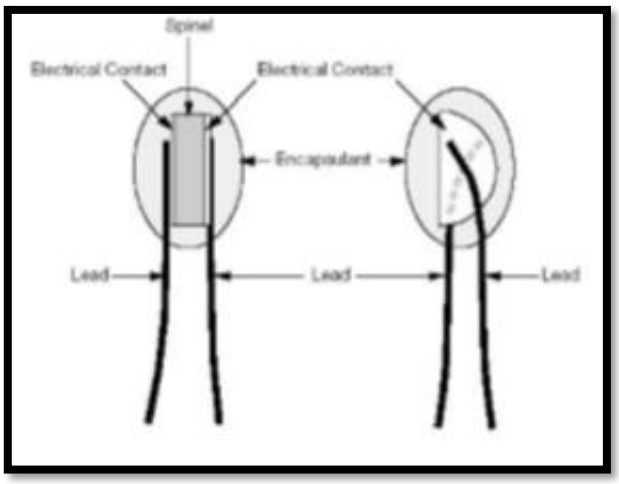


Figure 36 Componentes de un termistor
Fuente: Obregón 2007: 11

La ecuación que domina el cambio de resistencia de un termistor respecto a la temperatura está dada por:

$$R_T = R_o e^{b(\frac{1}{T_t} - 1/T_0)} \qquad (2.15)$$

Dónde:

Rt = Resistencia del termistor en ohmios

Ro = Resistencia inicial en ohmios

b = Coeficiente térmico

Tt = Temperatura de trabajo en Kelvin

To = Temperatura de referencia en kelvin

Debido a que los termistores son hechos de material semiconductor, estos tienen un rango limitado de medición de temperatura que va desde los -20° C a los 150° C.

Tal como se muestra en la ecuación que lo define la respuesta de los termistores es no lineal, como se muestra en la Figura 37:

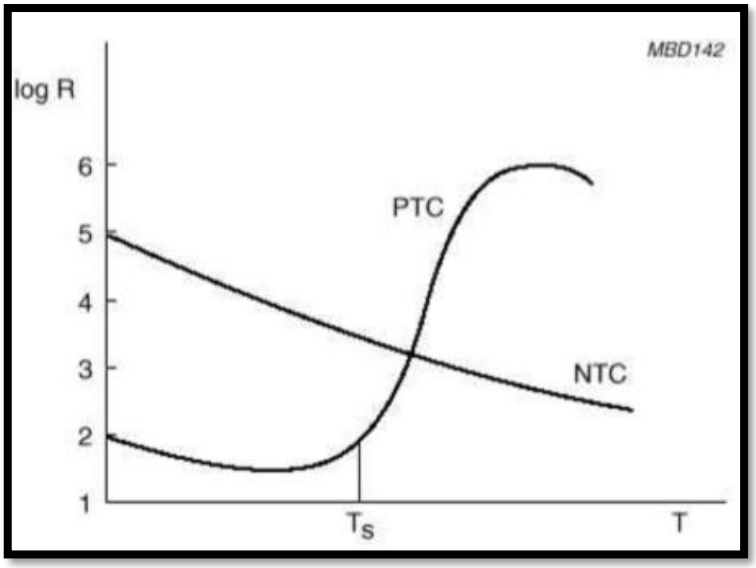


Figure 37 Resistencia vs. Temperatura en termistores (NTC) y posistores (PTC)
Fuente: Obregón 2007: 11

La figura muestra que los termistores NTC pueden aproximarse a una función lineal mientras que los PTC muestran varias pendientes haciendo su aproximación a una función lineal viable solo en secciones. Por tanto, para el proyecto se realizarán pruebas con termistores del tipo NTC de 10 k ohmios.

2.9 Corriente, resistividad y resistencia

2.9.1 Corriente eléctrica

La corriente se define como cualquier movimiento de carga de una región a otra34. Tal como se observa en la Figura 38 hay un conductor por el que fluye la corriente en donde las cargas en movimiento son positivas, ya que se mueven la misma dirección que la corriente. Por tanto, según Sears 2009 "… se define que la corriente que pasa a través del área de sección transversal A como la carga neta que fluye a través del área por unidad de tiempo".

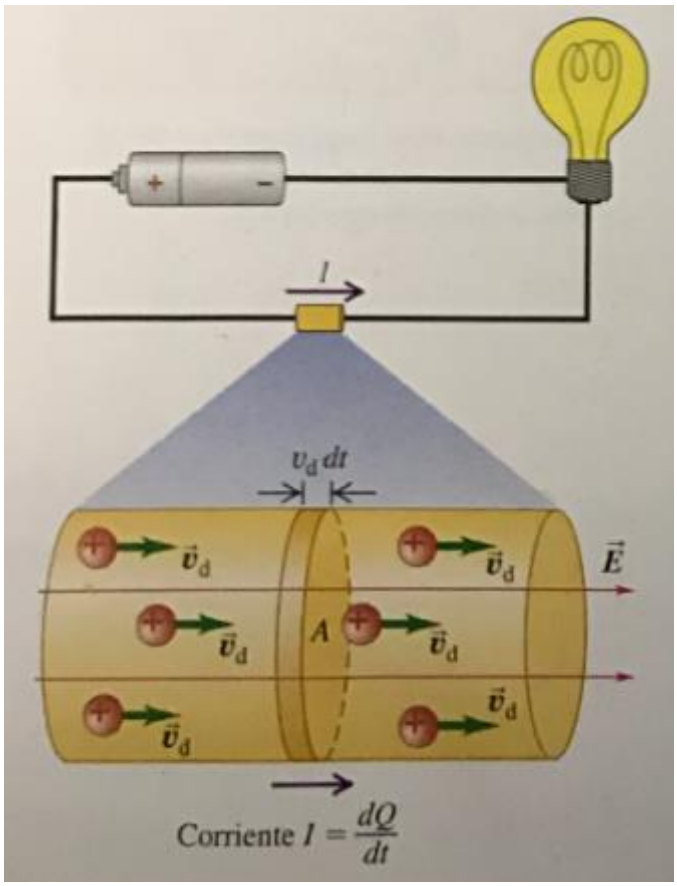


Figure 38 Corriente que circula por sección transversal A
Fuente: Sears 2009: 820

De tal forma que si la carga neta dQ fluye a través de un área en el tiempo dt, la corriente I a través del área es:

[34] Sears 2009: 819

$$I = \frac{dQ}{dt} \tag{2.16}$$

Donde:

I = corriente

dQ = carga neta que fluye a través de un área

dt = tiempo en el que fluye una carga neta por un área

Además, es necesario saber que se denomina densidad de corriente a la corriente por unidad de área de la sección transversal:

$$J = \frac{I}{A} \tag{2.17}$$

Donde:

J = densidad de corriente

I = corriente

A = unidad de área de la sección transversal por la que fluye la corriente

2.9.2 Resistividad

En su libro de física, Sears y Zemansky mencionan que la densidad de corriente $\vec{J}$ en un conductor depende del campo eléctrico $\vec{E}$ y de las propiedades del material, la cual es una dependencia muy compleja. Para ciertos materiales, los metálicos en general, esta relación es casi directamente proporcional a una temperatura dada. A esta relación se la conoce como Ley de Ohm que a nivel macroscópico se define en la ecuación 2.18:

$$I = \frac{V}{R} \tag{2.18}$$

Donde:

I = corriente en Amperes

V = voltaje en Voltios

R = resistencia en Ohmios

Por otro lado, la resistividad ρ de un material viene a ser la razón de las magnitudes del campo eléctrico y la densidad de corriente tal como se muestra en la ecuación 2.19[35]

$$\rho = \frac{E}{J} \tag{2.19}$$

Donde:

ρ = resistividad de un material

E = campo eléctrico

J = densidad de corriente

Al aumentar la resistividad de un material también deberá aumentar el campo eléctrico para tener una densidad de corriente "x". De la ecuación 2.19 se sostiene que la resistividad tiene unidades $V \cdot \frac{m}{A}$. Y como se mostró en la ecuación 2.18, en la ley de Ohm, se desprende que 1 V / A se conoce como 1 Ω y las unidades de ρ son $\Omega \cdot m$

En la Tabla 7 se describen algunos de los valores de resistividad para ciertos materiales.

[35] Sears 2009: 823

Table 7 Resistividad en materiales a temperatura ambiente (20° C)
Fuente: Sears 2009: 823

	Sustancia	ρ (Ω·m)
Conductores		
Metales	Plata	1.47 X 10e-8
	Cobre	1.72 X 10e-8
	Oro	2.44 X 10e-8
	Aluminio	2.75 X 10e-8
	Acero	20 X 10e-8
	Plomo	22 X 10e-8
	Mercurio	95 X 10e-8
Aleaciones	Manganina	44 X 10e-8
	Nicromo	100 X 10e-8
Semiconductores		
	Carbono puro	3.5 X 10e-5
	Germanio puro	0.6
	Silicio puro	2300
Aislantes		
	Ámbar	5 X 10e14
	Vidrio	10e10 - 10e14
	Mica	10e11 - 10e15
	Cuarzo (fundido)	75 X 10e16
	Teflón	> 10e13
	Madera	10e8 - 10e11

2.9.3 Resistencia

Como se mencionó antes, un conductor con resistividad ρ la densidad de corriente $\vec{J}$ en un punto del campo eléctrico $\vec{E}$ es la que se describe en la ecuación 2.20

$$\vec{E} = \rho\vec{J} \tag{2.20}$$

Al aplicar la ley de Ohm la resistividad es constante e independiente de la magnitud del campo eléctrico por lo que el campo eléctrico es directamente proporcional a la densidad de corriente, pero esta relación puede expresarse además en la diferencia de potencial entre los terminales del conductor y el total de la corriente del conductor[36].

[36] Sears 2009: 825

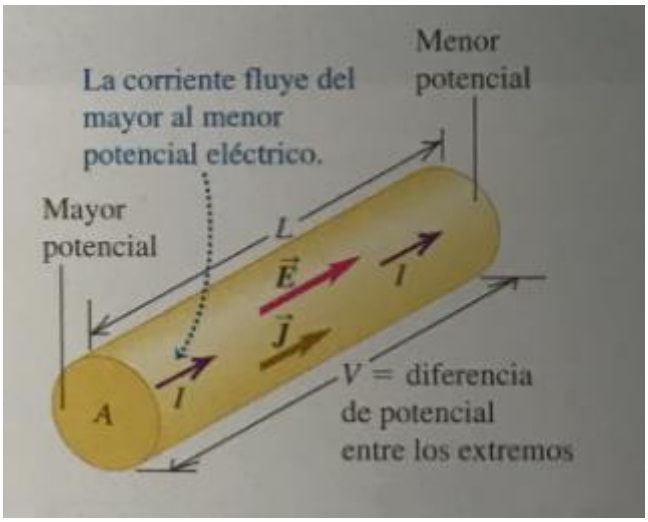


Figure 39 Conductor con sección transversal uniforme
Fuente: Sears 2009: 823

En la Figura 39 se observa un conductor (alambre) con una sección transversal uniforme A, además la densidad de corriente es la misma en cualquier sección transversal y por tanto, el campo eléctrico es constante en toda la longitud L. Si la densidad de corriente y el campo eléctrico son uniformes en el conductor, la corriente total I será igual $I = JA$, y la diferencia de potencial V entre los dos extremos será $V = EL$. Al usar estas dos relaciones en la ecuación 2.20 obtendremos la ecuación 2.21

$$\frac{V}{L} = \rho \frac{I}{A} \text{ o bien, } V = \rho \frac{L}{A} I \qquad (2.20)$$

Lo que demuestra que cuando la resistividad es constante la corriente es proporcional a la diferencia de potencial, razón conocida como Resistencia R.

Al comparar esta definición de R con la ecuación 2.20 se observa que la resistencia R de un conductor específico tiene relación con la resistividad de un material a través de la siguiente ecuación.

$$R = \rho \frac{L}{A} \tag{2.21}$$

Esta ecuación será usada en el capítulo 3 para dimensionar el cableado nicrom que se usará en el prototipo.

2.9.4 Resistores en serie y en paralelo

Los resistores se encuentran en todo tipo de circuitos en diferentes combinaciones que pueden sumar o dividir los valores de resistividad para aplicaciones específicas.

En la parte superior de la Figura 40 se observan dos resistencias R_1, R_2 y R_3 en serie las cuales pueden ser reconocidas en un circuito cuando estas se encuentran conectadas en un solo camino de corriente entre sus puntos extremos. Por otro lado, en la parte inferior de la Figura 2.30 se observa que las resistencias R_1, R_2 y R_3 están conectadas en paralelo tomando en cuenta sus puntos extremos ya que cada resistencia representa un camino diferente para la corriente que circula[37].

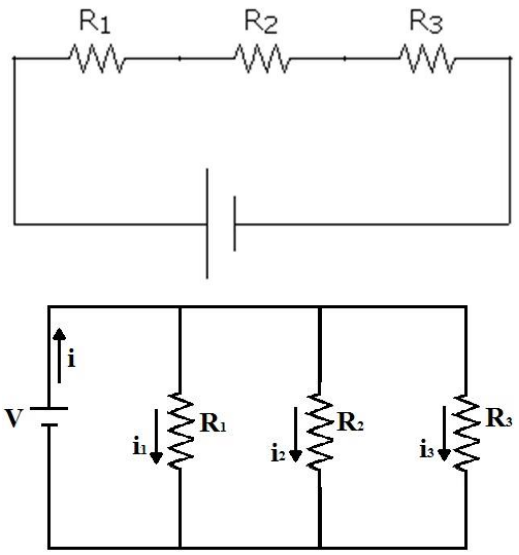


Figure 40 Resistencias en serie y en paralelo

Fuente: Sears 2009: 981

[37] Sears 2009: 981

Cualquier combinación de resistores puede representarse en un solo resistor dando el mismo resultado de corriente y diferencia de potencial total, a este equivalente se le conoce como Resistencia equivalente, por tanto, la red se rige por la siguiente ecuación 2.21

$$V_{ab} = IR_{eq} \text{ o bien, } R_{eq} = \frac{V_{ab}}{I} \qquad (2.21)$$

Donde V_{ab} es la diferencia de potencial entre los bornes extremos e I es la corriente en el cualquier de los puntos extremos de la red.

Para el caso de la combinación en serie se obtiene la diferencia de potencial absoluta entre los extremos del circuito como la suma de las diferencias de potencial individuales como sigue en la ecuación 2.22

$$V_{ab} = V_1 + V_2 + V_3 = I\ (R_1 + R_2 + R_3) \qquad (2.22)$$

Por tanto, reemplazando R_{eq} en la ecuación 2.21 se obtiene

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 \qquad (2.23)$$

Mientras que en el circuito en paralelo la corriente que pasa por cada resistencia no necesariamente es la misma pero si se mantiene la diferencia de potencial entre los bornes de cada resistencia y esta debe ser la misma que la diferencia de potencial equivalente por lo que al reemplazar los valores en la ecuación general 2.20 se obtiene[38]

$$V_{ab} = I_1R_1 \quad ; \quad V_{ab} = I_2R_2 \quad ; \quad V_{ab} = I_3R_3 \qquad (2.24)$$

Si bien la corriente es diferente en cada resistor, la corriente total es la suma de la corriente en cada resistor por lo que al reemplazar los valores de la ecuación 2.24 se concluye lo siguiente.

[38] Sears 2009: 982

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = V_{ab}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right) \quad (2.24)$$

De lo que se obtiene[39]

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (2.24)$$

2.10 Potencia en circuitos eléctricos

La potencia eléctrica representa la relación de la energía por unidad de tiempo y sus unidades son expresadas en vatios (W) según el Sistema Internacional de Unidades. Para definir gráficamente la potencia, según la Figura 41, se observa un elemento – que puede ser un resistor, batería u otro – de circuito con deferencia de potencial V_{ab} entre sus terminales con corriente I circulando de a hacia b. Si se considera que en un intervalo de tiempo dt transcurre una cantidad de carga $dQ = I\ dt$ por el elemento en mención, el cambio en la energía potencial se representa con V_{ab} dQ = V_{ab} I dt. Y al dividir dicha expresión entre dt se obtiene la rapidez en la que se transfiere la energía; esta relación se conoce como potencia y se denota en la ecuación 2.25 como P[40].

$$P = V_{ab} I \quad (2.24)$$

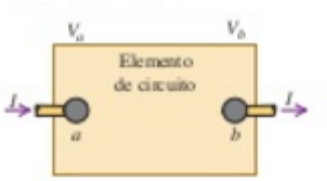


Figure 41 Potencia de alimentación al elemento de circuito entre a y b
Fuente: Sears 2009: 863

2.11 Equivalencias energéticas

Otra de los tópicos necesarios a mostrar son las equivalencias energéticas usadas según la definición del Sistema Internacional de Unidades. Las conversiones y/o equivalencias se

[39] Sears 2009: 983
[40] Sears 2009: 863

requieren para expresar valores de potencia y energía dependiendo de las ecuaciones en las que se usen. En la Tabla 8 se definen estas equivalencias.

Table 8 Tabla de conversión de unidades energéticas y de potencia
Fuente: IAE Universidad Austral 2008

ENERGÍA								
Unidades de conversión Energéticas	J Ws	kJ kWs	MJ MWs	GJ GWs	Wh	kWh	MWh	GWh
Cal	4.2				$1.16 \cdot 10^{-3}$			
kcal (Cal)	4200	4.2			1.16			
Mcal		4200	4.2			1.16		
Gcal			4200	4.2			1.16	
	cal	kcal	Mcal	Gcal	Wh	kWh	MWh	GWh
J	0.24				$1.28 \cdot 10^{-3}$			
KJ	240	0.24			0.28			
MJ		240	0.24			0.28		
GJ			240	0.24			0.28	
	cal	kcal	Mcal	Gcal	J	kJ	MJ	GJ
Wh	860	0.86			3600	3.6		
KWh		860	0.86			3600	3.6	
MWh			860	0.86			3600	3.6
GWh				860				3600

POTENCIA								
Unidades de conversión de Potencia	J / h	kJ / h	MJ / h	GJ / h	W	kW	MW	GW
cal / h	4.2				$1.16 \cdot 10^{-3}$			
kcal / h	4200	4.2			1.16			
Mcal / h		4200	4.2			1.16		
Gcal / h			4200	4.2			1.16	$1.16 \cdot 10^{-3}$

2.12 Microcontrolador

Según Torres, señala que los microcontroladores "son computadores digitales integrados en un chip que cuentan con un microprocesador o unidad de procesamiento central (CPU), una memoria para almacenar el programa, una memoria para almacenar datos y puertos de entrada y salida" (Torres 2007: 3).

Los microcontroladores son autosuficientes, económicos y flexibles, y su funcionamiento está determinado por el programa almacenado en su memoria, que puede ser escrito en diversos lenguajes de programación.

Los microcontroladores son usados como el controlador de sistemas embebidos con diversas aplicaciones tales como aplicaciones industriales, de automatización y robótica, domótica, equipos médicos, teléfonos entre otros.

2.12.1 Características del microcontrolador

Las principales características de un microcontrolador son:

- Unidad de Procesamiento Central (CPU): Pueden ser de 4, 8, 32 y hasta 64 bits.
- Memoria de Programa: Memoria ROM, EPROM, EEPROM, o Flash; almacena el código del programa.
- Memoria de Datos: Memoria RAM que puede ser de 1, 2, 4, 8, 16, 32 kilobytes.
- Generador de Reloj: Que puede ser un cristal de cuarzo de frecuencias que genera una señal oscilatoria entre 1 y 40 MHz, o resonadores o circuitos RC.
- Interfaz de Entrada/Salida: Puertos paralelos, seriales, I2C, interfaces periféricos seriales, USB.
- Otras opciones: Conversores análogo-digitales o moduladores de ancho de pulso para generar ondas cuadradas con una frecuencia fija pero de ancho variable[41].

2.13 Redes celulares

2.13.1 Introducción a los sistemas celulares

"El concepto de sistema celular fue un gran avance en la resolución del problema de la congestión espectral y de la capacidad del usuario. Éste ofrecía una gran capacidad en una localización limitada del espectro sin grandes cambios tecnológicos. La idea de un sistema celular consiste en un sistema basado en varios niveles de celdas: un transmisor de gran potencia (celda grande) con muchos transmisores de baja potencia (celdas pequeñas), cada una proporcionando cobertura a sólo una pequeña porción del área de servicio. A cada estación base se le asigna una porción del número total de canales disponibles en el sistema completo, y a las estaciones bases cercanas se les asignan diferentes grupos de canales de forma que los canales disponibles son asignados en un número relativamente pequeño de estaciones base vecinas. A las estaciones base vecinas se les asigna diferentes grupos

[41] Torres 2007: 4

de canales de forma que las interferencias entre las estaciones base (y entre los usuarios móviles bajo su control) se reducen. Espaciando sistemáticamente las estaciones base y sus grupos de canales a través de un mercado, los canales disponibles se distribuyen a través de una región y pueden ser reutilizadas tantas veces como sea necesario, siempre que la interferencia entre estaciones con el mismo canal se mantenga por debajo de unos niveles aceptables.

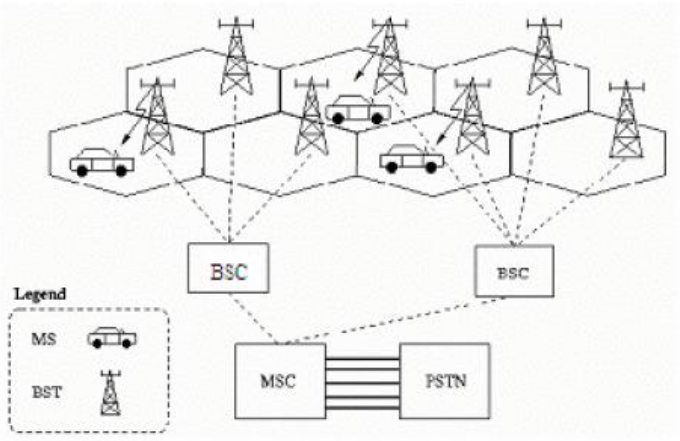


Figure 42 Ejemplo de un sistema celular
Fuente: UDLAP 2003: 4

Conforme crece la demanda de servicios, se debe incrementar el número de estaciones base, proporcionando una capacidad de radio adicional sin incremento del espectro de radio. Este principio es el fundamento de todos los modernos sistemas de comunicaciones inalámbricos, y en particular de GSM." (UDLAP 2003: 4). Lo descrito puede observarse en la Figura 42.

2.14 GPRS (General Packet Radio Service)

2.14.1 Principios del GPRS

Con el crecimiento diario del tráfico de internet, la búsqueda de un método más eficiente para poder contrarrestar tal demanda de internet de los usuarios es inevitable. Por ello se creó la tecnología GPRS (General Packet Radio Service,

Servicio General de Paquetes por Radio) permite asentar una comunicación entre dos equipos móviles.42

El GPRS es una tecnología de conmutación por paquetes de información estandarizado sobre la infraestructura de la red GSM permitiendo la transmisión de datos hasta una velocidad de 170kbits/sec.43 Esta tecnología ofrece según Morales "el acceso de datos tales como las redes IP y sus servicios asociados como lo son el Internet, WAP, correo electrónico, redes corporativas o intranets, comercio electrónico, etc. Este es un procedimiento más adecuado para transmitir datos, hasta ahora los datos se habían transmitido mediante conmutación de circuitos, procedimiento más adecuado para la transmisión de voz. A parte de soportar la transmisión de información mediante la conmutación de paquetes, también permite la transmisión de voz, que se transmiten en diferentes canales de forma paralela.

El GPRS, como se mencionó en el párrafo anterior, es un sistema que permite la transmisión de datos mediante paquetes, que también es llamada "paquetización" de la información y que permite el compartimiento del mismo canal para que varias comunicaciones lo utilicen al mismo tiempo, permitiendo con esto un aprovechamiento sobre los canales de comunicación, haciendo que las transmisiones sean mucho más rápidas y de manera más segura." (Morales 2003:5)

2.14.2 Funcionamiento del GPRS

Antes de hablar sobre la arquitectura de la red GPRS es necesario analizar primero la arquitectura de la res GSM ya que como se mencionó previamente, la red GPRS se monta sobre la infraestructura de la red GSM.

2.14.2.1 Arquitectura de la red GSM

Todas las redes GSM están divididas en cuatro subsistemas separados:

- La estación Móvil o Mobile Station (MS) está conformada por dos elementos: el equipo móvil y la tarjeta SIM.

[42] Cfr. Morales (2003)
[43] Cfr. NANDHINI (2001)

- La Estación Base o Base Station Subsystem (BSS) está encargado de la transmisión y la recepción de la conexión entre la estación móvil con el NSS. Al igual que la estación móvil, la BSS está conformada por dos elementos: el BTS y el BTC. La Base Transciever Station (BTS) es básicamente antenas y transcievers encargados de la interfaz de aire para asegurar una conexión continua e ininterrumpida de la MS con la BTS. Y la Base Station Controler (BCS) como bien dice su nombre, es el controlador de las BTS y tiene como funciones básicas: recolectar datos estadísticos, control de las frecuencias de radio de los BTS, entre otras.
- El Subsistema de Conmutación y Red o Network and Switching Subsystem (NSS) se encarga de administrar las funciones necesarias para conmutar llamadas entre los usuarios de la red y las bases de datos del sistema. Este sistema está dividido en varias partes:
    - Mobile Service Switching Center (MSC)
    - Visitor Location Register (VLR)
    - Home Location Register (HLR)
    - Authentication Center (AC)
    - Equipment Identity Register (EIR)
- Los Subsistemas de soporte y Operación o Operation and Support Subsystem (OSS) tienen como función básica realizar todas las interacciones para el monitoreo de las NSS y las BSS.

A continuación, en la Figura 43 se muestra la estructura de la arquitectura de la red GSM.

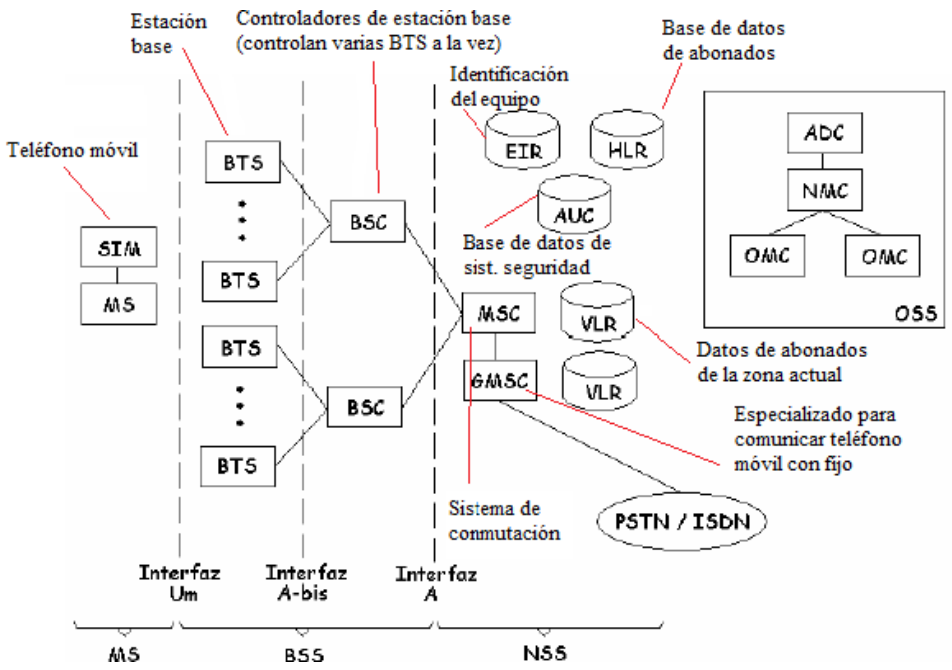


Figure 43 Arquitectura de la red GSM
Fuente: Morales 2003: 6

2.14.2.2 Arquitectura de la red GPRS

La arquitectura del GRPS es una extensión de la arquitectura del GSM. Uno de los principales fines en el diseño del GPRS es soportar alto tráfico de datos. Aunque el GPRS es considerado que es parte del servicio GSM, tiene su propia red básica y su propia red de radio. Dos elementos son agregados a la existente infraestructura para mantener el tráfico de paquetes separado de la voz y data tradicional del GSM:

- El SSN (Serving GPRS Support Node) provee enrutamiento de paquetes desde y hacia su área de servicio. Atenderá a todos los usuarios GPRS que estén físicamente dentro de su área de servicio. Cabe resaltar que cualquier usuario puede ser atendido por cualquier SGSN dependiendo de su ubicación geográfica. El tráfico de datos es enrutado a través de la BSC vía la BTS hasta la estación móvil.
- El GGSN (Gateway GPRS Support Node) provee la interface con otras redes GPRS así como una red IP externa. Desde el punto de vista de una red IP externa, el GGSN es un host que contiene todas las direcciones IP de todos los usuarios que son

atendidos por la red GPRS. Enviar la información correctamente y el protocolo de comunicación son otras de las funciones del GGSN.

El SGSN y el GGSN son routers móviles, todos los nodos están interconectados vía una red troncal IP44 como se muestra en la Figura 44.

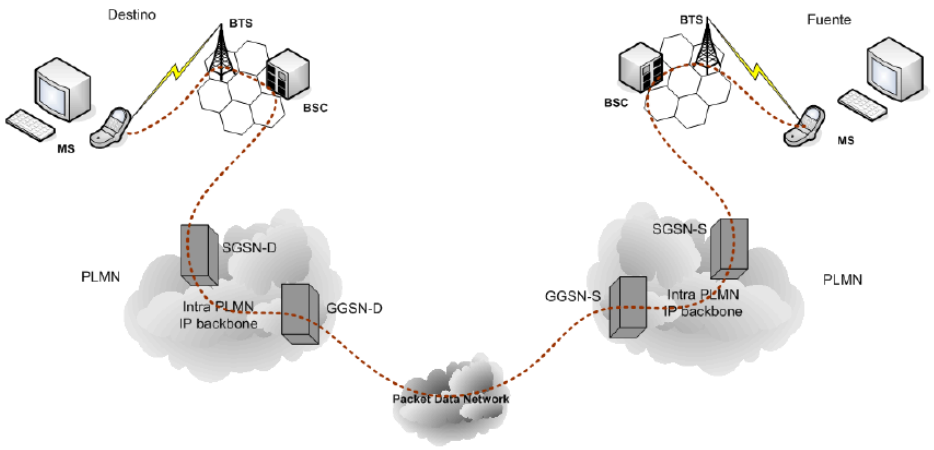


Figure 44 Arquitectura de la red GPRS
Fuente: Morales 2003: 6

2.14.3 Servicios

Los servicios GPRS se pueden definen en una de estas dos categorías: PTP (punto a punto) y PTM (Punto a multipunto) servicios. A continuación, se detallan ambas categorías.

2.14.3.1 PTP (punto a punto)

El servicio PTP se puede dividir en dos, PTP-CONS (Point-to-Point Connection Oriented Network Service, punto a punto orientado a la conexión de servicio de red) y PTP-CLNS (Point-To-Point Connectionless Network Service, punto a punto sin conexión). En la Tabla 9 se explican ambos servicios.

[44] Cfr. Nandhini (2004)

Table 9 Descripción de servicios GPRS PTP
Fuente: Prieto 2007: 65

Servicio	Descripción	Aplicaciones
PTP-CONS	• Una relación lógica se establece entre los usuarios. • Múltiples paquetes se envían entre una sola fuente y un solo destino	• Validaciones de tarjetas de crédito • Monitoreo electrónico • Aplicaciones Telnet • Acceso a base de datos y recuperación de la información
PTP-CLNS	• No requiere conexión lógica entre los usuarios • Los paquetes se envían entre una sola fuente y un solo destino • Cada paquete es independiente de su antecesor y sucesor	• Correo electrónico • Internet World Wide Web

2.14.3.2 PTM (punto a punto)

El servicio PTM provee a los usuarios la capacidad de enviar datos a varios destinos dentro de una única solicitud de servicio. Con la excepción de los servicios de PTM-M (Point-to-Multipoint Multicast), los grupos deben ser definidos y los miembros están obligados a unirse a una llamada en curso para convertirse en participantes. Una llamada PTM-G (Point-to-Multipoint Group) generalmente se limita a los miembros situados dentro de un área geográfica específica. Una llamada IP-M (IP-Multicast) es por otra parte independiente de la zona geográfica de los participantes y puede ser interno a la red o distribuido a través de Internet. En la Tabla 10 se muestra de una forma general la descripción de estos servicios y algunas posibles aplicaciones.

Table 10 Descripción de servicios GPRS PTM
Fuente: Prieto 2007: 66

Servicio	Descripción	Aplicaciones
PTM-M	• Los mensajes se transmiten a un área geográfica específica y opcionalmente a un grupo especificado dentro de esa área • Los receptores son anónimos • El plazo de entrega está programada	• Noticias • Reportes del clima y del trafico

	• La transmisión es unidireccional	
PTP-G	• Los mensajes se transmiten a un grupo específico dentro de un área geográfica específica • Los miembros del grupo deben unirse a la llamada PTM-G para convertirse en participantes • La entrega es en tiempo real • La transmisión es unidireccional, bidireccional y multidireccional	• Servicios de conferencia
IP-M	• Los mensajes se transmiten a un grupo especificado • Los miembros del grupo deben unirse a la llamada IP-M para convertirse en participantes • La entrega es en tiempo real • La transmisión es multidireccional	• Transmisiones multimedia en vivo • Mensajes corporativos a los empleados

2.15 Comandos AT

Los comandos AT son utilizados para el control de módems. Se le llama comandos AT ya que los caracteres AT provienen de la palabra en ingles ATtention que significa atención. Todos y cada uno de estos comandos llevan al principio AT para obtener la atención del modem. Los comandos AT con módems GSM/GPRS pueden ser utilizados para acceder a la siguiente información y servicios:

- Información y configuración relacionada con el dispositivo móvil o el módem y la tarjeta SIM.
- Servicios SMS
- Servicios MMS
- Servicios de Fax
- Enlaces de voz y data sobre la red móvil 45

Los comandos AT pueden ser emitidos solo cuando el módem está en modo comando (command mode) o modo de comando en línea (online command mode)

- El módem está en modo comando cuando no está conectado a otro módem.
- El módem está en modo de datos cada vez que se conecta a otro módem y listo para intercambiar datos. modo de comandos en línea es un estado

[45] Cfr. Engineers Garage (2012)

temporal en el que se puede emitir comandos al módem mientras está conectado a otro módem.46

2.15.1 Respuestas y resultados del comando

Los comandos AT son enviados por una computadora el modem o al teléfono móvil, una vez que éste recibe el comando, envía una respuesta con la información pedida y luego es seguida por el código de resultado, este indica si fue exitosa la ejecución del comando o no. En la Figura 45 se muestra un diagrama de flujo con lo explicado anteriormente.

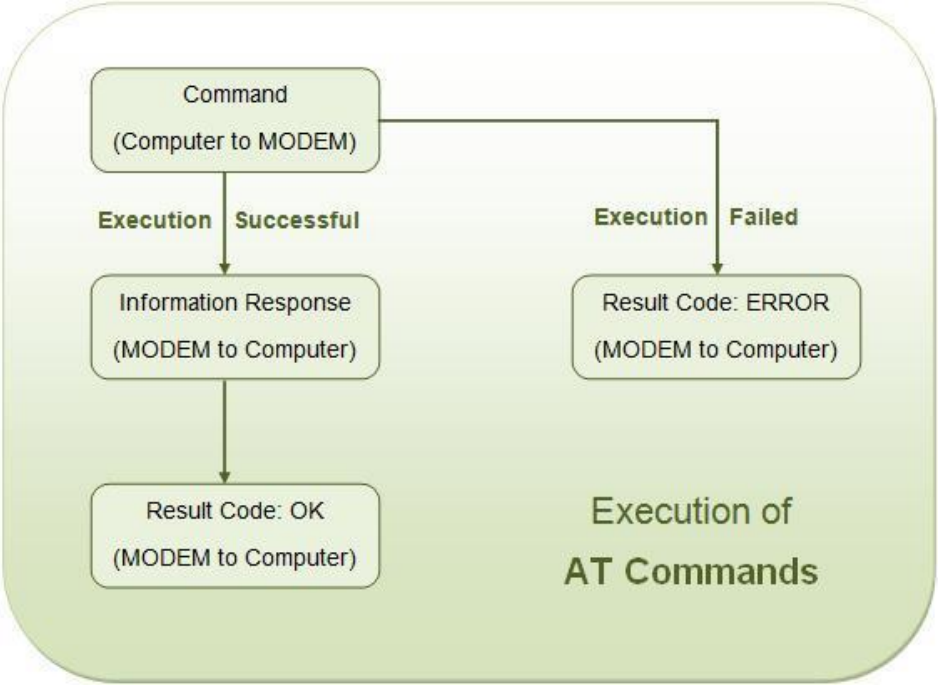


Figure 45 Diagrama de flujo de ejeución de los comandos AT
Fuente: Engineers Garage 2012

Cabe resaltar que existen códigos de resultados que son retornados automáticamente por el modem para notificar la ocurrencia de un evento.47

[46] Cfr, STURSA (2004)
[47] Cfr. Engineers Garage (2012)

2.15.2 Sintaxis de los comandos AT

Normalmente los comandos AT se escriben en mayúsculas, sin embargo, existen algunos módems y teléfonos móviles los cuales permiten que los comandos sean escritos en mayúsculas o minúsculas.

Todos los comandos AT comienzan con el prefijo AT el cual indica el comienzo del comando y un salto de línea que indica el final de la orden, como se muestra en la Figura 46. Cabe resaltar que el prefijo AT no es parte del comando, por ejemplo, en el comando ATD, el nombre del comando es D, el cual significa marcar (Dial en inglés), no ATD.

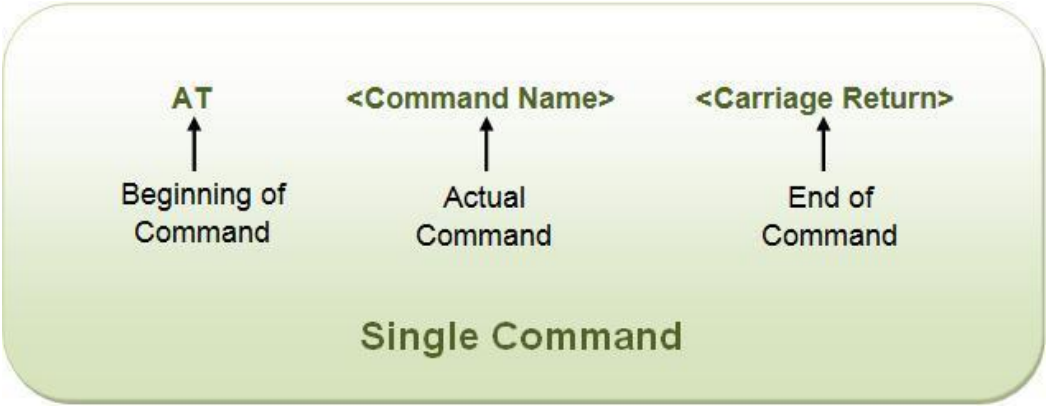


Figure 46 Sintaxis de un comando AT
Fuente: Engineers Garage 2012

Existen formas de enviar múltiples comandos hacia el modem a través de una misma línea de comando, los comandos deben estar separados por un punto y coma (;) como se muestra en la Figura 47. 48

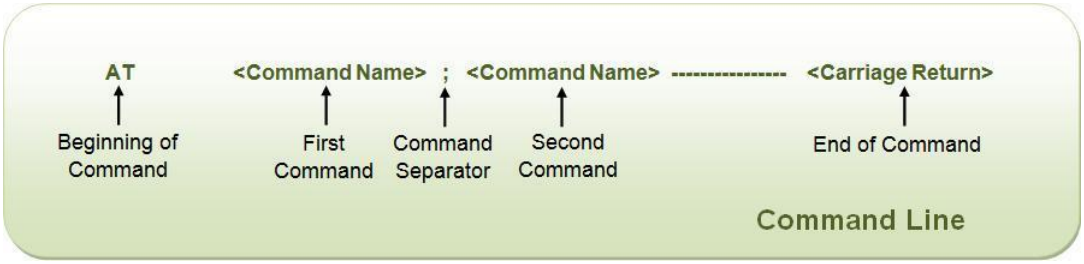


Figure 47 Sintaxis de múltiples comandos AT en una misma línea de comando
Fuente: Engineers Garage 2012

[48] Cfr. Engineers Garage (2012)

2.15.3 Tipos de comandos AT

Dentro de todos los comandos AT, existen cuatro tipos los cuales son: de tipo prueba, de tipo lectura, de tipo configuración y te tipo ejecución.

- Los comandos de prueba son usados para comprobar si el comando es soportado o no por el modem. La sintaxis de estos tipos de comando es la siguiente: AT<nombre del comando>=?. Por ejemplo, ATD=?.
- Los comandos de lectura son usados para obtener la configuración del teléfono móvil o el modem. La sintaxsis de estos tipos de comando es: AT<nombre del comando>?. Por ejemplo, AT+CBC?.
- Los comandos de configuración son usados para modificar la configuración del teléfono móvil o modem para una operación. La sintaxis de estos tipos de comandos es la siguiente: AT<nombre del comando>=valor1, valor2,…, valorN. Por ejemplo, AT+CSCA=”+9876543210”, 120.

Los comandos de ejecución son usados para llevar a cabo alguna operación. Los comandos de lectura no pueden obtener el valor del último parámetro asignado en un comando de ejecución ya que los parámetros de ejecución no son almacenados. La sintaxis de estos comandos es la siguiente: AT<nombre del comando>=parametro1, parametro2, …, parametroN. Por ejemplo, AT+CMSS=1,”+ 9876543210”, 120.[49]

[49] Prieto 2007:70

3 DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE PROPUESTO

Luego de conocer el escenario de la problemática en la que surge el presente proyecto descritos en el primer capítulo, y conocer los conceptos en los que se basa la implementación del sistema prototipo en el segundo capítulo; este tercer capítulo comprende la descripción de la etapa de hardware. En este capítulo se detallará los elementos y componentes usados para la realización del proyecto, así como su funcionamiento, ventajas y limitaciones; además se señala que aporte realiza cada componente al sistema o etapa del sistema prototipo.

3.1 Descripción general del proyecto

En la figura 48 se presenta la arquitectura del presente proyecto, el cual se ha dividido en tres estructuras que se muestran a continuación:

1) Estación Solar: Compuesta por el panel solar y los reguladores de tensión. Así como la estructura que los soporta.
2) Etapa de Almacenaje de energía: Compuesta por la batería de gel, que se encargará de alimentar la etapa de potencia del sistema; y el powerbank, que aportará la energía suficiente a la tarjeta de control.
3) Estructura de la cuna: compuesta por las 2 capas de madera y 1 capa de aislante para la elaboración de recinto, así como los actuadores con hilos de nicrom y la tarjeta que censa y controla la temperatura al interior de la cuna.

Figure 48 Diagrama General de la Arquitectura del Sistema
Fuente: Elaboración Propia

Siendo el funcionamiento el siguiente:

Toda la energía necesaria para el funcionamiento del sistema es proporcionada por la captación de la radiación solar en la estación solar. La estación solar transforma la energía solar, gracias al panel solar instalado en su parte superior en energía eléctrica DC; la cual pasa por las etapas de regulación de tensión y corriente para poder cargar los 2 tipos de baterías que se encuentran conectadas a la estación.

El primer regulador es un circuito que limita la salida a 5V/1A, la cual es necesaria para la carga de un Power Bank (o banco de batería recargable) el cual es removible de la estación solar, pues estas baterías solo permanecerán durante las horas de día (de recarga) en dicha estación, pues su principal uso es en la alimentación del circuito de la tarjeta controladora y display.

El segundo regulador, es un circuito que limita la salida del panel solar a 13V/1A, la cual es necesaria para la batería recargable de gel, la cual nunca será desconectada del panel, pues su uso es proporcionar un flujo continuo de corriente a la cuna calefactable para un neonato, y ya que no requiere movilidad, por tanto no es necesario removerla; además, de esta forma, se garantiza que apenas se alcance un nivel de tensión optima capaz de cargar esta batería, la recarga se ejecutará sin demora alguna, lo cual es crucial tratándose de mantener a una temperatura constante al neonato.

El control de temperatura en la cuna calefactable se lleva a cabo gracias un microcontrolador PIC 16F877A, al sensor de temperatura LM35 y al actuador: Nodo calefactable cuyo componente activo es el hilo de nicrom.

3.2 Descripción de cada etapa del sistema prototipo

En esta sección se detallarán cada de uno de los componentes usados en el sistema prototipo describiendo su funcionamiento, sus características, limitaciones y su aporte a la etapa que pertenece.

3.2.1 Fuentes de Alimentación

Tal como se mencionó previamente, la alimentación de energía se realizará mediante un panel solar que colectará la energía solar diariamente para alimentar al sistema. La energía

colectada debe ser almacenada ya que esta es requerida por las noches, y la colección se da durante el día usando la energía solar. Para el almacenamiento de la energía se usarán dos tipos de batería: baterías recargables pequeñas y livianas para alimentar la tarjeta controladora de la cuna calefactable, y una batería de gel para los nodos de la cuna calefactable. A continuación, se describe cada uno de los elementos mencionados a detalle.

3.2.1.1 Panel Solar

El panel solar o módulo fotovoltaico a usar será un módulo ET del tipo mono cristalino. El modelo es el M536100 y es de 100 W.

Las características principales que brinda este panel son:

- Alta eficiencia de conversión del módulo, sobre tecnología de manufactura superior.
- Cuenta con aluminio anodizado que es la principal ventaja para mejorar la resistencia a la corrosión.
- Altamente transparente, bajo en hierro, de vidrio templado.
- Muestra excelente rendimiento bajo ambientes de poca luz.

Los beneficios que brindan el panel a usar son:

- Diseñado para fácil instalación y alta durabilidad
- Cuenta con 25 años de garantía en potencia de salida y 5 años de garantía en los materiales y mano de obra del producto.

En la siguiente Tabla 11 se encuentran las especificaciones eléctricas del panel solar que se usó en la implementación de este sistema prototipo.

Table 11 Especificaciones técnicas del panel solar
Fuente: ET Solar 2014

Modelo	**ET-M536100**
Potencia pico (Pmax)	100 W
Eficiencia de la celda	17.78%
Eficiencia del módulo	15.23%
Voltaje a máxima potencia (Vmp)	18.48 V
Corriente a máxima potencia (Imp)	5.41 A
Tensión circuito abierto	22.25 V
Corriente corto circuito (Isc)	5.72 A
Tensión máxima del sistema	DC 1000 V
Temperatura de celda en operación normal	± 2 °C
Tolerancia de potencia	-3 a 3%
Ratio serie de fusibles (A)	
Número de diodos de bypass	3

Mientras que en la Tabla 12 se encuentra el detalle de las especificaciones mecánicas del panel solar.

Table 12 Especificaciones mecánicas del panel solar
Fuente: ET Solar 2014

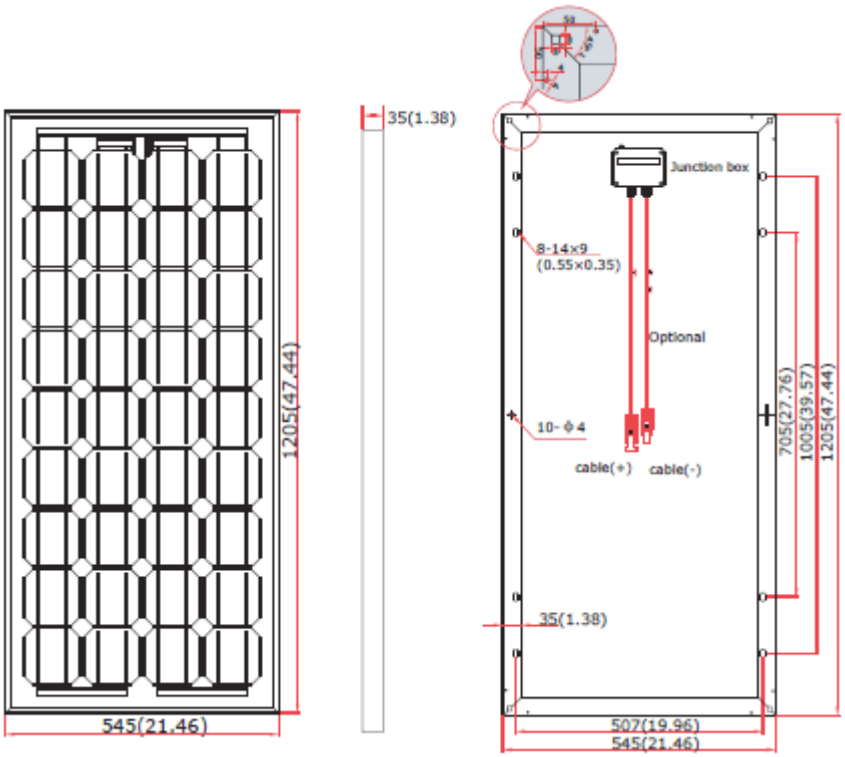
Celda	**125 mm x 125 mm**
Número de celdas	36 celdas en serie
Peso	8.23 kg (18.14 lbs)
Dimensiones	1205 x 545 x 35 mm (47.44x21.46x1.38 pulgadas)
Carga máxima	2400 Pascales (50 lb/pie2)

La Tabla 13 muestra los coeficientes de temperatura en los que opera el panel solar.

Table 13 Coeficientes de temperatura del panel solar
Fuente: ET Solar 2014

Coeficiente de temperatura de Isc (TK Isc)	**0.042 %/°C**
Coeficiente de temperatura de Voc (TK Voc)	-0.336 %/°C
Coeficiente de temperatura de Pmax (TK Pmax)	-0.47 %/°C

También se muestran, en la Figura 49, las características físicas del panel solar usado en el que se observan su dimensionamiento, espesor y detalle de celdas.



Unidad de medida: mm (pulgadas)

Figure 49 Dimensiones del panel solar
Fuente: ET Solar 2014

Otro de las características importantes a mencionar sobre el panel solar son las características eléctricas en el que este se rige, lo que muestra el rendimiento eléctrico del panel considerando una temperatura promedio de la celda solar del 25° C. El detalle del comportamiento del voltaje y la corriente en el panel solar bajo estas condiciones se observa en la Figura 50.

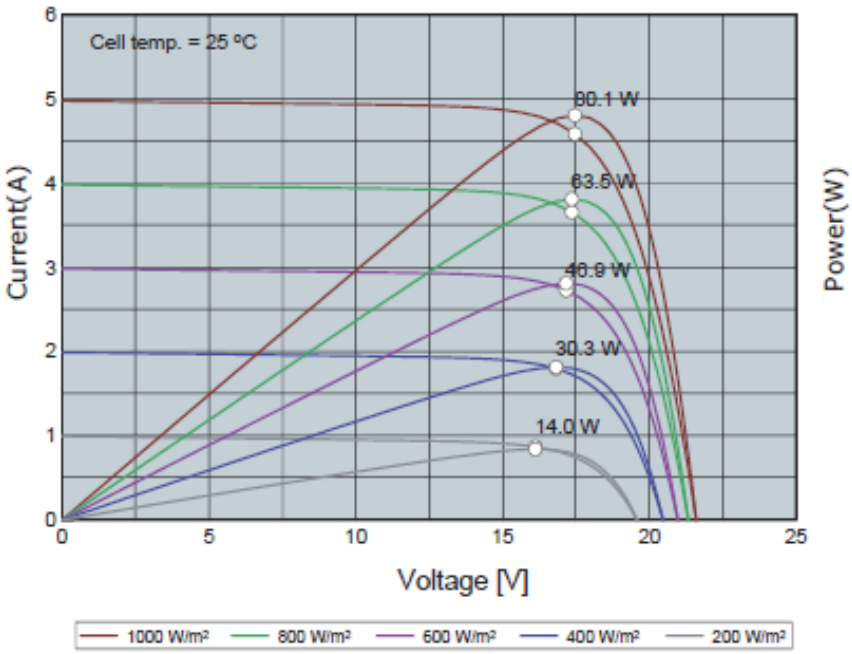


Figure 50 Rendimiento eléctrico (Temperatura de la celda: 25 °C)
Fuente: ET Solar 2014

En la Figura 51 se muestra la dependencia de la temperatura en la celda solar respecto a la corriente, el voltaje y la potencia, observando que a 25° C la celda solar tiene el valor más eficiente de corriente, voltaje y potencia.

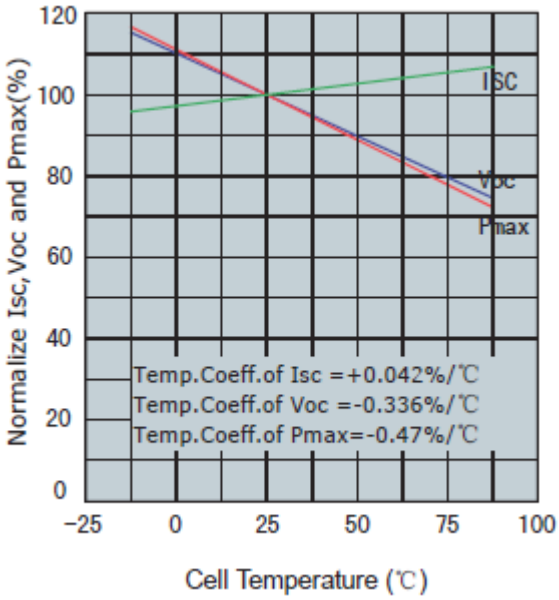


Figure 51 Dependencia de temperatura de Isc, Voc y Pmax
Fuente: ET Solar 2014

Así mismo se puede observar la dependencia de la irradiación (W/m) respecto a la corriente, voltaje y potencia considerando que la celda solar se encuentra a 25° C, el comportamiento se muestra en la Figura 52.

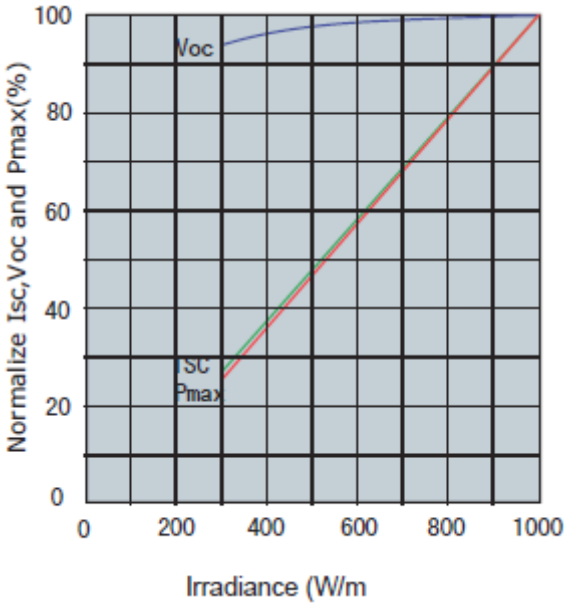


Figure 52 Dependencia de irradiación de Isc, Voc y Pmax (Temp. de celda: 25 °C)
Fuente: ET Solar 2014

3.2.1.2 Batería recargable

La batería seleccionada para el proyecto es una con capacidad de 30000mAh, sin embargo, dado que el Powerbank tuvo que ser importado, por seguridad se compró una de mayor capacidad: 50000mAh, para prever algún gasto energético adicional. El detalle de sus características técnicas se encuentra en la Tabla 14.

Table 14 Detalles técnicos de la batería
Fuente: Datasheet power bank

Capacidad	50000mAh
Tipo de batería	Batería de litio18650
Entrada	DC 5V/ 1.0A
Salida	DC 5V 1A, DC 5V 2.1ª
Color	Negro
Tiempo de carga	7-8 horas
Peso	10 Oz

Tamaño	5 1/4 x 2 3/4 x 1 pulgadas
Marca	OEM para Power bank 50000mah
Soporta	IPhone, IPad, IPod, Mp3/Mp4 PSP, PDAs, celular, cámara digital, MID, consola de juego de mano
Certificados	CE, FCC, RoHS
Tipo	Viaje / portable
Tipo de socket	Cargador USB

Esta batería es la encargada de suministrar la energía necesaria al controlador de temperatura de la cuna térmica.

Las características físicas de esta batería se encuentran en la Figura 53.

Figure 53 Detalles del PowerBank
Fuente: Datasheet power bank

La carga de esta batería se realiza a través de conectar una micro USB, con una tensión de 5V y una corriente máxima de 1A. Para lograr la carga de estas baterías se utilizó el regulador de tensión y corriente que se expone en el siguiente apartado de este capítulo.

Se eligió este diseño, ya que los indicadores LED muestran el estado real de la carga en el Power Bank, lo cual es bastante útil para proceder a desconectarlos de la carga, de la estación solar.

El tipo de baterías de litio-ion en el que se basa este dispositivo es la 18650; las cuales presentan una gran ventaja en comparación con otras, poseen integradas en la base del cátodo un circuito de protección contra sobrecarga, sobredescarga y cortocircuito, tal como se muestra en la Figura 54.

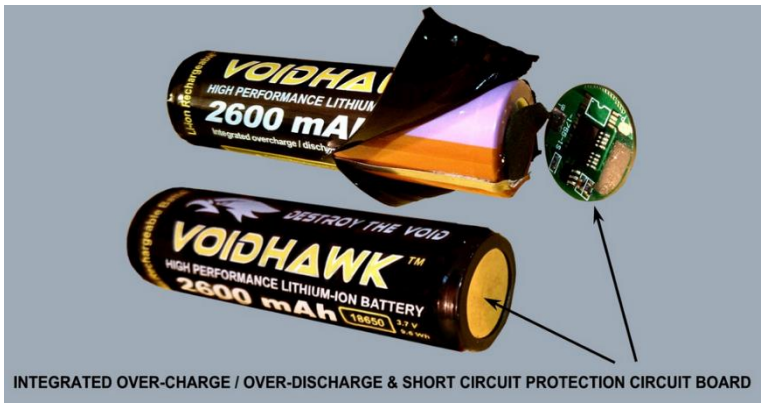


Figure 54 Dispositivo de Protección de Baterías de Litio-ion
Fuente: Internet

3.2.1.3 Batería de gel

Estas baterías son conocidas como baterías secas por el estado gelatinizado en que se encuentran los electrolitos dentro de la batería.

Esta batería se usará para la alimentación de energía de la cuna térmica, es una batería de gel de 12V/7AH, de la marca Opalux que cumple con el estándar ISO9001.

Las dimensiones de la batería son 15 x 6,5 x 9,3 cm; y son usadas generalmente en lámparas de emergencia, filmadoras, y paneles solares.

Esta batería será colocada en un lugar fijo en la parte baja de la estructura que soporta el panel solar.

En la Figura 55 se observa la imagen de la batería de gel que se usó en este sistema prototipo.

Figure 55 Batería de gel
Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Reguladores de tensión/ corriente

Para acondicionar la energía suministrada por el panel solar, se necesita implementar circuitos que regulen la salida a un valor fijo y óptimo que permita cargar las baterías que se mencionan a continuación.

3.2.2.1 Circuito con MC34060

El siguiente circuito es obtenido del datasheet del integrado MC34060, el cual tiene las mismas características que el MC33060, excepto por su rango de operación en cuanto a la temperatura, pues este último puede operar –40°C. a +85°C.

La Figura 56 muestra el detalle del diagrama esquemático del regulador para la carga de la batería.

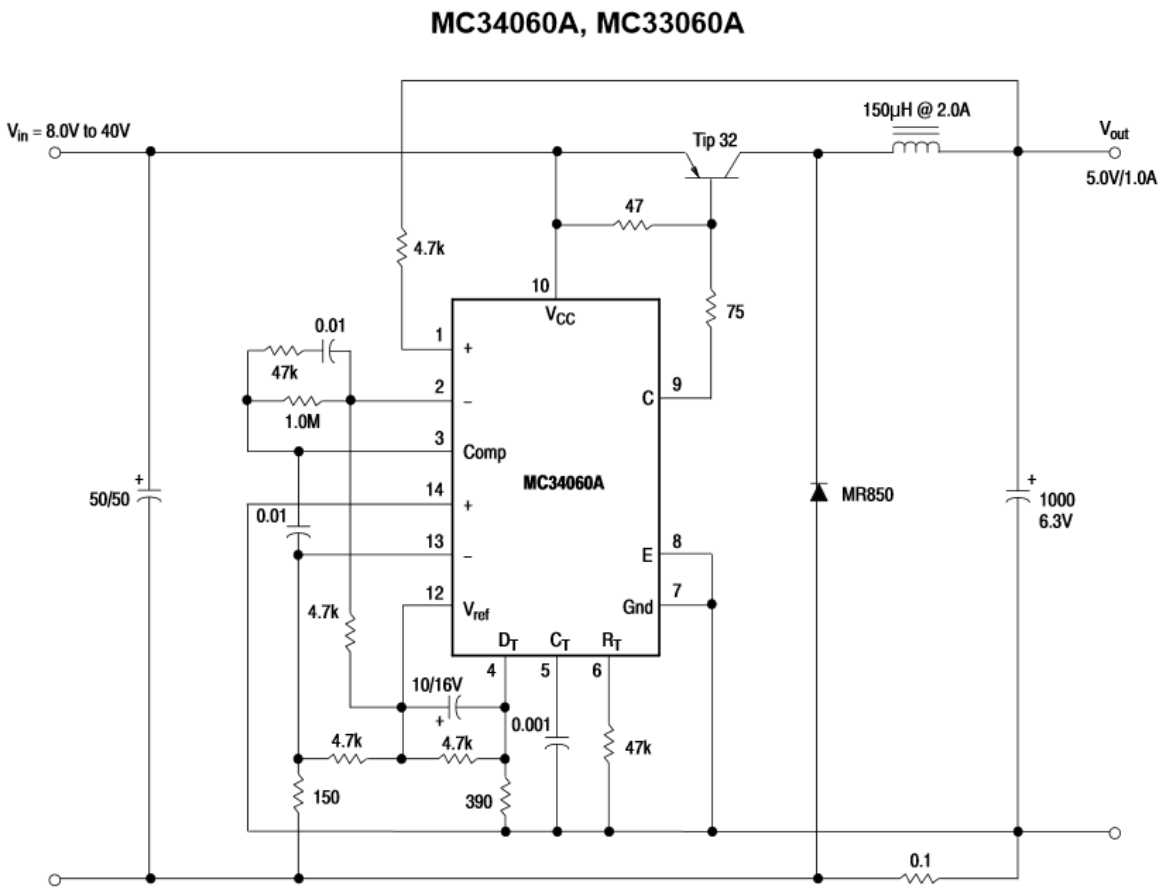


Figure 56 Diagrama esquemático del Regulador/Limitador para carga de Batería
Fuente: Datasheet del chip

El circuito es en un regulador de tensión y de corriente, por PWM. La obtención de esta señal PWM es lograda gracias a la comparación interna de la señal de voltaje de salida, que se realimenta para ser comparada con una señal Diente de Sierra, cuya oscilación es controlado por Ct y Rt, gobernadas por la siguiente fórmula.

$$\mathbf{Fosc}=\frac{1.2}{Rt*Ct} \qquad (3.1)$$

Donde:

Rt = resistencia de timing

Ct = capacitor de timing

En la Figura 57 se muestra la vista superior del circuito integrado MC34060.

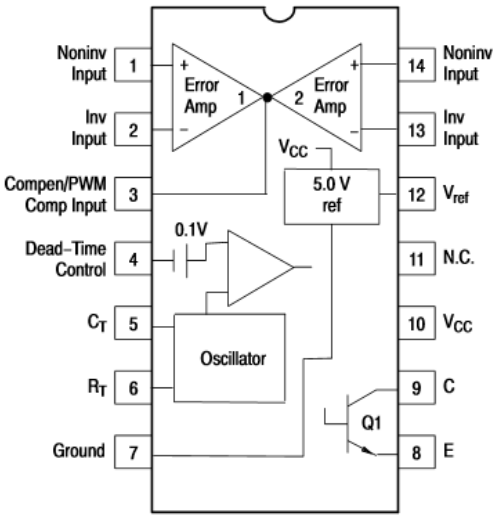


Figure 57 Visión Superior del MC34060
Fuente: Datasheet

Luego, como se ve en la figura anterior 57, los pines 1, 2, 13 y 14 son las entradas de dos amplificadores de error. Y ambas se unen para tener control de la componente de PWM. El diseño interno del MC34060 hace que el mayor error sea el que gobierne el PWM, es decir, si la tensión es lo que está superando los 5V deseados, esta será la señal de error que reajuste el voltaje; y si por otro lado, la corriente de salida es la que está superando su valor establecido, es decir 1A, el PWM se reducirá para disminuir el voltaje de salida y así limitar la corriente.

El pin 4 siempre tiene un offset de 0.12 V, para garantizar que la señal que se comparara con la señal diente de sierra nunca sea cero, pues eso desestabilizaría la salida de PWM. Dado que la señal interna tiene una amplitud de 5V, se puede decir que el PWM mínimo que podemos obtener con esta configuración es aproximadamente un 3%.

Finalmente, la salida del PWM se da por el transistor Q1 interno que hace conducir su colector cuando se energiza su base ya que Q1 está en su configuración de emisor común. Este transistor interno a su vez activa el TIP 32 externo, es el componente de conmutación en la fuente buck externa.

Por último, el filtro de la fuente buck está compuesto por la bobina de 150uA y el capacitor de 1000uF para obtener una señal DC pura. También forma parte de la fuente buck el diodo de alta frecuencia MR850, el cual es el encargado de permitir la descarga de la bobina cuando el TIP32 no está conduciendo.

3.2.3 Control de Temperatura

En esta sección, se mencionan los 2 tipos de sensores de temperatura usados, al igual que el circuito necesario para realizar el monitoreo y control de la temperatura en la cuna calefactable: Un micro controlador PIC.

3.2.3.1 LM35

Este circuito integrado es un sensor de temperatura caracterizado por su precisión en la calibración, de 1 °C. Dentro de sus principales características se tiene:

- Calibración en °C
- Rango de trabajo desde -55 °C hasta 150 °C
- Factor de escala lineal de 10mV / °C
- Precisión de -5 °C a 25 °C
- Apropiado para aplicaciones remotas
- Opera entre los 4 y 30 V
- Usa menos de 60µA de consumo
- De bajo costo
- Bajo auto-calentamiento: 0.08 °C en aire estático
- Impedancia de salida baja: 0.1 Ω para cargas de 1mA

De estas características se resalta la ventaja de que la calibración sea en °C ya que no se requiere restarle una gran tensión para obtener °C. Este CI puede funcionar con alimentación simple o doble (+ y -), y no requiere de circuitos adicionales para calibrar externamente; además, debido a sus características de linealidad, precisión y baja impedancia de salida el LM35 puede ser integrado de manera sencilla a un circuito de control.

Su presentación viene generalmente en el encapsulado TO-92, usado en transistores de baja potencia. En la Figura 58 se muestra el diagrama de conexión de este elemento.

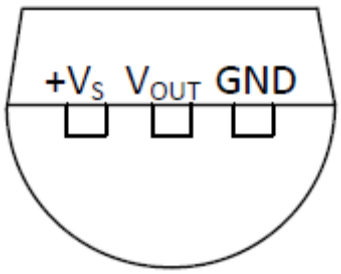


Figure 58 Empaquetado de plástico TO92 – vista de desde abajo LM35
Fuente: Texas Instruments 2013: 3

La base del algoritmo es una mezcla del control ON-OFF y el proporcional, aprovechando las características de la variable física que queremos controlar: la temperatura, ya que esta no cambia muy rápido.

Si la temperatura estuviese por debajo de los 4 grados de la temperatura de confort para el usuario, es necesario subir la temperatura lo más rápido posible a través del actuador, este se encenderá y se ajustará al máximo valor posible para que se llegue al set point lo más pronto posible. Cuando la temperatura ya se encuentre en la temperatura deseada, la potencia se reducirá al 50% para no sobrecalentar al usuario y a su vez ahorrar en el uso de la batería. El calor generado y ganado por el cuerpo del usuario, retendrá calor siempre y cuando se encuentre en su mayoría aislado del medio, para lo cual se ha contemplado un método de aislamiento que se expondrá en las próximas partes.

Esta estrategia de reducción del 50% cuando se acerca a la temperatura deseada es la que utilizó de la estrategia de control proporcional, por otro lado, cuando la temperatura está muy por debajo de la deseada se utiliza la estrategia ON-OFF, respectivamente.

3.2.4 Nodos calefactables

Los nodos calefactables son los elementos activos que se encargarán de proporcionar calor al usuario. Están construidos con dos capas de tela de poliéster, una capa aislante de espuma de polietileno, y el tejido con hilos de nicromo; además de las conexiones necesarias a su respectivo circuito controlador.

3.2.4.1 Tipo de tela

Este elemento tiene el papel de suministrar un soporte para el tejido con hilo de nicrom y el cableado necesario, que deberá estar conectado a la batería. A su vez, estará forrada con el material de aislante térmico (por el lado que no tiene contacto con el usuario) para conservar e irradiar todo el calor generado hacia el cuerpo del usuario.

El material seleccionado para diseñar estas estructuras a modo de "nodos calefactables" ha sido la tela polar.

Si bien es una tela sintética por ser 100% polyester, es una tela cuya relación peso/ abrigo es muy favorable, ya que pese a ser muy liviana abriga mucho. La tela polar se puede observar gráficamente en la Figura 59.

Figure 59 Tela Polar
Fuente: Internet

Dentro de sus ventajas podemos mencionar las siguientes:

- Suave y cómodo de usar.
- Muy cálido sin pesar demasiado
- Material hidrófobo, reteniendo menos del 1% de su peso en agua cuando está completamente empapado, y simultáneamente permite la respiración. Debido a esto, el vapor de agua de la transpiración pasa a través y poco queda retenido en la tela. Esto lo hace una buena elección para actividades físicas.

- Puede ser considerado benigno para el medio ambiente ya que se puede fabricar de PET reciclado obtenido de botellas.
- Se puede lavar a máquina y se seca rápidamente. Algunas instrucciones específicas incluyen el uso de agua a temperaturas no mayores a 30 °C - 40 °C, y no permiten el uso de plancha.
- Una buena alternativa para aquellos con alergia o sensibilidad a la lana.
- Se seca muy rápidamente y retiene gran parte de la capacidad de aislamiento aun cuando está húmedo, debido a las propiedades hidrófobas.

Y sus desventajas son las que se detallan a continuación

- Es inflamable. Las telas del que se hacen de pelo natural animal, como la lana o las sedas son las menos inflamables.
- No absorbe la humedad como el algodón o la lana (aunque es el efecto deseado)
- No bloquea el viento (aunque algunos más costosos son más densos y resisten mejor el viento)
- Puede ser dañado por el lavado a altas temperaturas (se recomiendan temperaturas menores a 30 °C - 40 °C), por el secado a máquina o por el planchado.
- Los de baja calidad son susceptibles a formar bolitas, a desgastarse y rasgarse.
- En algunos casos se rasga fácilmente.

3.2.4.2 Materiales aislantes

Para el sistema prototipo se necesita un material que sea buen aislante térmico, y se decidió utiliza las burbujas protectoras de polietileno, que como bien sabemos contiene aire, y es un buen aislante térmico. Este producto es muy conocido en el embalaje, está formado por dos láminas delgadas de plástico de polietileno unidas de fábrica por técnicas mecánico-térmicas que dejan pequeños espacios libres permitiendo la creación de burbujas de aire entre las láminas. Este producto es generalmente usado para proteger materiales delicados de golpes pequeños, sin embargo; su utilidad para el proyecto es la ya mencionada. A continuación, se presentan las características de las burbujas de polietileno:

- Es flexible y liviana, esto facilitará su manipulación y no se verá afectado en la comodidad ni espacio de la cuna calefactable.
- La espuma de polietileno no se desgrana cumpliendo su función durante largos periodos.
- Las propiedades físicas del producto hacen que sea invulnerable a los insectos.

Generalmente el volumen que ocupe es una desventaja, sin embargo; para el proyecto no representará problema por su función distinta de aislante que requiere una reducida cantidad del producto.

La Figura 60 muestra el detalle de cómo se ve este tipo de material aislante mencionado en el párrafo anterior.

Figure 60 Material aislante conocido como "Espuma de poliestileno"
Fuente: qsource 2011

3.2.4.3 Resistencia térmica (Nicrom)

Este tipo de resistencia es el principal actuador tanto en la cuna calefactable que se propone implementar.

Los hilos de nicrom se pueden apreciar en la Figura 61.

Figure 61 Hilo de Nicrom
Fuente: www.termocortadoras.com

El nicromo o nicrom es una aleación de níquel y cromo. La aleación tipo está compuesta de un 80% de níquel y un 20% de cromo. Es de color gris y resistente a la corrosión, con un punto de fusión cercano a los 1400 °C.

Es por esta característica que a través de ella puede transferirse una alta corriente, aun cuando el nicromo se vea "al rojo vivo" como en la siguiente imagen, y no se fundirá si la temperatura es inferior a los 1400 °C. El detalle de lo mencionado se encuentra en la Figura 62.

Figure 62 Cortadora de Nicrom
Fuente: Internet

En el proyecto presente, la salida entregada por el PIC accionará un transistor en modo **c**orte y saturación el cual se encargará de suministrar la mayor corriente posible al nicrom y así generar el calor, que se verá reflejado en un incremento de la temperatura.

3.2.5 Recintos y Soportes

Otra parte del hardware que abarca el proyecto es el recinto que representa el prototipo de la cuna calefactable y la estación solar que consta del soporte del panel solar y las baterías. A continuación se detallan las características físicas de estos elementos.

3.2.5.1 Cuna

El prototipo de la cuna calefactable ha sido diseñado de acuerdo a las características que requiere un mueble que permita mantener al niño cómodo y abrigado, y que a la vez sea viable su estructura para poder controlar la temperatura del volumen de aire al interior. Es así que el prototipo de la cuna ha sido diseñado de madera, material que se caracteriza por ser un buen aislante térmico lo que evita cambios bruscos en la temperatura del ambiente dentro de la cuna.

La cuna está conformada por dos capas de madera, la cual está protegida por una capa de material aislante (1 pulgada de espesor de tecnopor), para garantizar el aislamiento térmico y así mejorar la performance del control de temperatura. Lo mencionado se puede observar en la Figura 63.

Figure 63 Vista inicial de la cuna calefactable
Fuente: Elaboración propia http://www.artilugiosencasa.es/archives/121

Las dimensiones del interior del prototipo de la cuna son como se muestran, tal como aparece en la Figura 64.

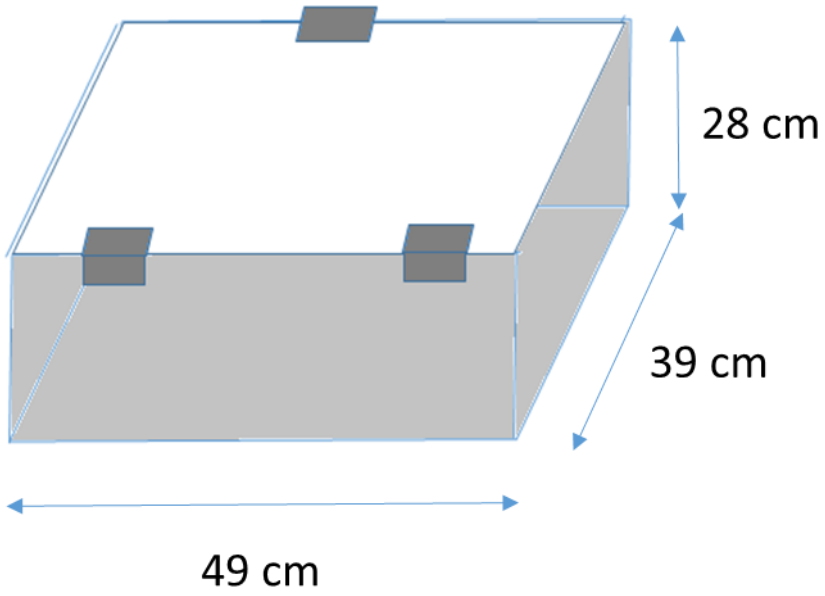


Figure 64 Dimensiones del prototipo de la cuna
Fuente: Elaboración propia

La Figura 65 muestra fotografías de la vista lateral y de fondo del prototipo de la cuna.

Figure 65 Prototipo de la cuna calefactable
Fuente: Elaboración propia

El control de temperatura en el interior de la cuna opera usando un sensor LM35 y un PIC 16F877A. La tarjeta controladora se encuentra ubicada en la parte exterior de la cuna cubierta por el protector plástico mientras que el sensor de temperatura está ubicado en el interior de la cuna.

3.2.5.2 Estación Solar

En esta estructura se encontrará situada el panel solar y se contemplará la posibilidad de hacer reajustable el ángulo de inclinación para una mayor captación de energía solar durante del día, si la diferencia hallada en las pruebas pueda ser significativa.

A su vez, en ella se hallarán los circuitos reguladores de tensión de las baterías, y el gabinete en el cual se instalarán las baterías removibles, que pasadas las horas del día deberán ser removidas por los usuarios para usarla en la cuna calefactable durante las noches de friaje.

La Figura 66 muestra el soporte de la estación solar con las características detalladas en el párrafo anterior.

Figure 66 Soporte de la Estación Solar

Fuente: Elaboración propia

3.3 Cálculos matemáticos usados para el dimensionamiento y funcionamiento del sistema

En base a la descripción teórica desarrollada en el capítulo 2 a continuación se detallará la aplicación de dicha teoría para calcula el dimensionamiento y funcionamiento en general de la cuna calefactable.

3.3.1 Calorías necesarias para incrementar la temperatura al interior de la cuna

Dada las dimensiones de la cuna, se tiene un volumen de aire igual a 0.4M x 0.3M x 0.2M = 0.024M3. El aire posee una densidad de 1.3Kg/m3, lo que nos da una masa de aire de 0.0312Kg, y según tabla de Calor Específico, el del aire es de 0.238 Kcal/ (Kg.ºC)

Mediante la fórmula de Cantidad calórica **(2.14)** es posible determinar la cantidad de calorías que necesita aportar el actuador para variar la temperatura en al menos 10 ºC.

$$Q = (0.0312)(0.238\text{K})(Tf - To) \tag{3.1}$$

$$Q = (0.0312)(0.238\text{K})(10) \tag{3.2}$$

$$Q = 0.074256\ Kcal = 74.26\ cal \tag{3.3}$$

Como vemos, la cantidad de calorías necesarias es 74.26Kcal; dicha cantidad deberá ser proporcionada por la etapa de potencia del prototipo.

3.3.2 Calibre (número AWG) del alambre de nicrom

Las dimensiones del área útil; es decir, del interior de la cuna son de 0.4M x 0.3M, por lo que se determinó que por cada nodo calefactable se disponga de al menos 2M del hilo de Nicrom para que puedan ser distribuidos en forma de espiral al interior de la cuna y esta cubra al menos el 60% de la superficie de la cuna. Esto se observa en la Figura 67.

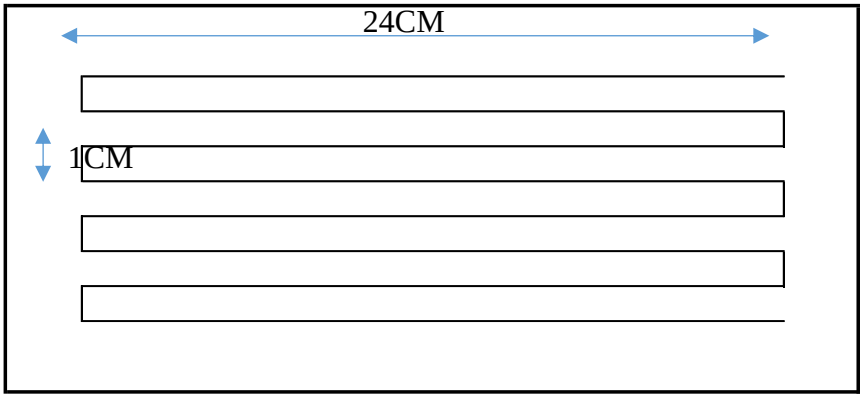


Figure 67 Distribución del alambre de nicrom en un nodo calefactable
Fuente: Elaboración propia

El segundo punto a determinar fue el consumo de cada nodo calefactable. Dado las limitaciones energéticas de las baterías comerciales, se fijó un consumo de 0.9A a 1A por cada nodo, para una batería de 11.5V; lo cual, según la ley de ohm (**2.18)**

$$\boldsymbol{R = \frac{11.5V}{1A}} \tag{3.4}$$

$$\boldsymbol{R = 11.5\Omega} \tag{3.5}$$

Para lograr esta resistencia equivalente de **11.5Ω** en cada nodo calefactable se puede utilizar dos configuraciones: Serie o paralelo. Dado que la longitud necesaria es bastante alta (2m),

se decidió utilizar una configuración en Paralelo de dos segmentos tal como se observa en la Figura 68.

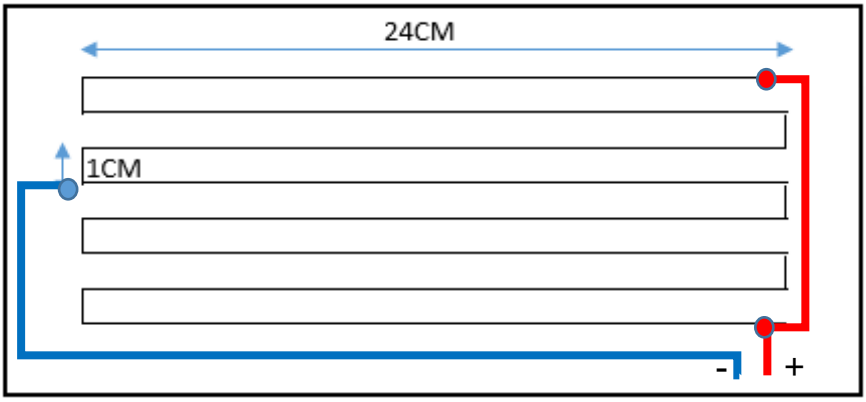


Figure 68 Distribución del alambre de nicrom en configuración paralela
Fuente: Elaboración propia

Según la figura 68, y mediante la fórmula de resistencia equivalente en una configuración en paralelo (2.24) tenemos que la resistencia en serie, es decir, la resistencia de la longitud de 2M de alambre de nicrom sería:

$$\mathbf{11.5}\Omega = \frac{\boldsymbol{R^2}}{\mathbf{2}\boldsymbol{R}} \tag{3.6}$$

$$\mathbf{11.5}\Omega = \frac{\boldsymbol{R}}{\mathbf{2}} \tag{3.7}$$

$$(\mathbf{2})(\mathbf{11.5}\Omega) = \boldsymbol{R} \tag{3.8}$$

$$\mathbf{23}\Omega = \boldsymbol{R} \tag{3.9}$$

Este sería el valor de la resistencia medida en cada uno de los dos sectores alimentados tal como se muestra en la Figura 69.

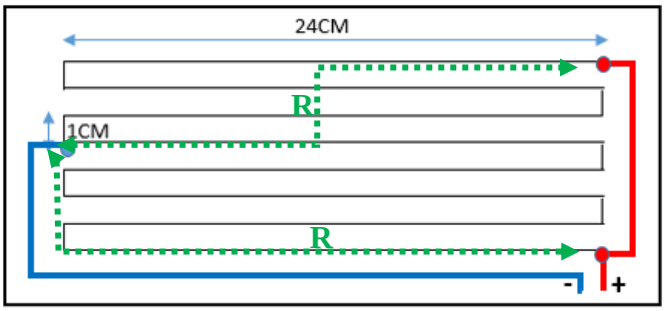


Figure 69 Distribución del alambre de nicrom en configuración paralela

Fuente: Elaboración propia

Si retiramos la alimentación, la configuración de la resistencia equivalente sería igual a tener los dos sectores conectados en serie, es decir

$$\boldsymbol{Req} = \mathbf{23}\Omega + \mathbf{23}\Omega \tag{3.10}$$

$$\boldsymbol{Req} = \mathbf{46}\Omega \tag{3.11}$$

Es decir, la resistencia equivalente del nodo, que cumple con el criterio de consumo de corriente, se logrará utilizando una configuración paralela de dos segmentos, en base a un alambre de nicrom con una longitud de 2 metros de punto a punto, cuya resistencia deba ser de 46Ω.

Luego, ya habiendo determinado los parámetros que deberá cumplir el alambre de Nicrom seleccionado, utilizamos la fórmula de resistividad **(2.21)** para calcular el área de la sección transversal del mismo.

$$R = \rho \frac{L}{A} \tag{3.12}$$

Despejamos el área:

$$A = \rho \frac{L}{R} \tag{3.13}$$

Según la tabla de resistividad (2.3), el del nicrom es $\rho = 1.5\Omega\cdot$mm2/m, y la longitud del alambre es de L = 2m

$$A = 1.5\frac{2}{46} \tag{3.14}$$

$$A = \mathbf{0,065217391}\boldsymbol{mm^2} \tag{3.15}$$

Mediante la tabla de equivalencia de sección transversal y número AWG descrita en la Tabla 15, se determinó que el hilo de nicrom que satisface las necesidades antes descritas es el número 29 o 30; se decidió usar el hilo de nicrom #30 por ser más comercial.

Table 15 Tabla de equivalencia de estándar AWG y mm2
Fuente: www.tnt-audio.com

Conversion table - American Wire Gauge - mm. - mm²

AWG N°	Diam. mm.	Area mm²	AWG N°	Diam. mm.	Area mm²
1	7,350	42,400	16	1,290	1,3100
2	6,540	33,600	17	1,150	1,0400
3	5,830	26,700	18	1,024	0,8230
4	5,190	21,200	19	0,912	0,6530
5	4,620	16,800	20	0,812	0,5190
6	4,110	13,300	21	0,723	0,4120
7	3,670	10,600	22	0,644	0,3250
8	3,260	8,350	23	0,573	0,2590
9	2,910	6,620	24	0,511	0,2050
10	2,590	5,270	25	0,455	0,1630
11	2,300	4,150	26	0,405	0,1280
12	2,050	3,310	27	0,361	0,1020
13	1,830	2,630	28	0,321	0,0804
14	1,630	2,080	29	0,286	0,0646
15	1,450	1,650	30	0,255	0,0508

Tnt-Audio Internet HiFi Review http://www.tnt-audio.com

3.3.3 Consumo energético

Mediante la formal del cálculo de potencia **(2.24)** se determina que la potencia consumida, para una alimentación de 11.5v y un consumo de 1A, es

$$P = (11.5V)(1A) \tag{3.16}$$

$$P = 11.5W \tag{3.17}$$

Ese es el consumo teórico de cada nodo calefactable, y como se tiene contemplado que el prototipo tendrá 2, la potencia consumida será:

$$P = 2(11.5W) \tag{3.18}$$

$$P = 23W \tag{3.19}$$

Cabe resaltar que el consumo de potencia de los dos nodos calefactables, es también la misma potencia que se suministra al prototipo, para elevar y controlar la temperatura.

Según la relación de conversión entre Watts y Calorías en la tabla de unidades energéticas **(2.4),** podemos decir que el sistema proporciona:

$$\text{P} = 0.24(23W) \tag{3.20}$$

$$\text{P} = 5.52\text{cal/s} \tag{3.21}$$

En teoría, si el prototipo presentará una eficiencia del 100% en la preservación de las calorías suministradas, se lograría variar los 10ºC en:

$$T = 74.26\frac{cal}{5.52cal/s} \tag{3.22}$$

$$T = 13.43s \tag{3.23}$$

Según lo calculado en el paso anterior, el prototipo tardaría sólo 13.43s en elevar la temperatura del interior de la cuna en 10ºC; sin embargo, esto sería bajo las premisas que de no exista ninguna pérdida de energía (salidas del aire), y que el material de fabricación le proporcione un 100% de aislamiento térmico; lo cual dado el uso que se le brindará es inviable.

3.4 Circuitos integrados programables

El único dispositivo programable para este proyecto es un microcontrolador, cuyo algoritmo fue presentado en la sección anterior correspondiente al control de temperatura, sin embargo se muestra a continuación una descripción del compilador con el que se trabajó.

3.4.1 Descripción del PIC C (Compilador)

La programación del microcontrolador se realizará usando la herramienta CCS basado en PCWHD, que incluye un editor en lenguaje de programación C, debugger, entre otros. Dentro de las características más resaltantes del programa se mencionan las siguientes.

- El CCS cuenta con funciones para usar el hardware de los procesadores PIC como READ_ADC () que lee el valor de un conversor A/D. También, la E/S discreta se opera mediante la descripción de las características de los puertos en un PRAGMA. Por otro lado, las funciones INPUT () y OUTPUT_HIGH () se encargan de mantener los registros tri-estado y permite el mapeo directo a memoria de las variables y estructuras para representar mejor la estructura del hardware en el lenguaje de programación C.
- El compilador permite retrasar en milisegundos o microsegundos sus funciones incorporadas mediante la especificación en un PRAGMA de la velocidad del reloj del microcontrolador y también permite que algunas funciones estándar como PRINTF () y GETC () puedan usarse para RS-232. El transceptor serie del hardware solo es usado en las partes son posibles de aplicar y para otros casos el programa generara un transceptor serie por software. Los operadores estándar del lenguaje de

programación C y las funciones estándar se optimizan para producir código eficiente para funciones de E/S y bits. También, el programa puede optimizarse por las mejoras en velocidad o en la ROM mediante funciones in-line o separadas cuyos parámetros son apuntados en registros reusables, ya que estas funciones con parámetros de referencia no sobrecargan la memoria.

En el proceso de enlazado se examina la estructura del programa, esto incluye el árbol de llamadas. Las funciones que frecuentemente se llaman entre si son agrupadas en el mismo segmento de página. La RAM se reserva de manera eficiente cuando se usa el árbol de llamadas para la determinación del número de ubicaciones que pueden ser reusadas y las cadenas constantes y tablas son almacenadas en la ROM del dispositivo. Por otro lado, la salida en HEX y los archivos de depuración son seleccionables y compatibles con emuladores y programadores reconocidos que incluyen al MPLAB IDE para depuración a nivel de fuente. PCW incluye un eficaz IDE bajo Windows. El programa puede ser instalado en los siguientes sistemas operativos: Windows 98, 2000, XP, Vista, W7, W8, W8.1 o Linux.

La Figura 70 muestra la imagen inicial del CCS Compiler al abrir dicho software así como la vista del editor del compilador.

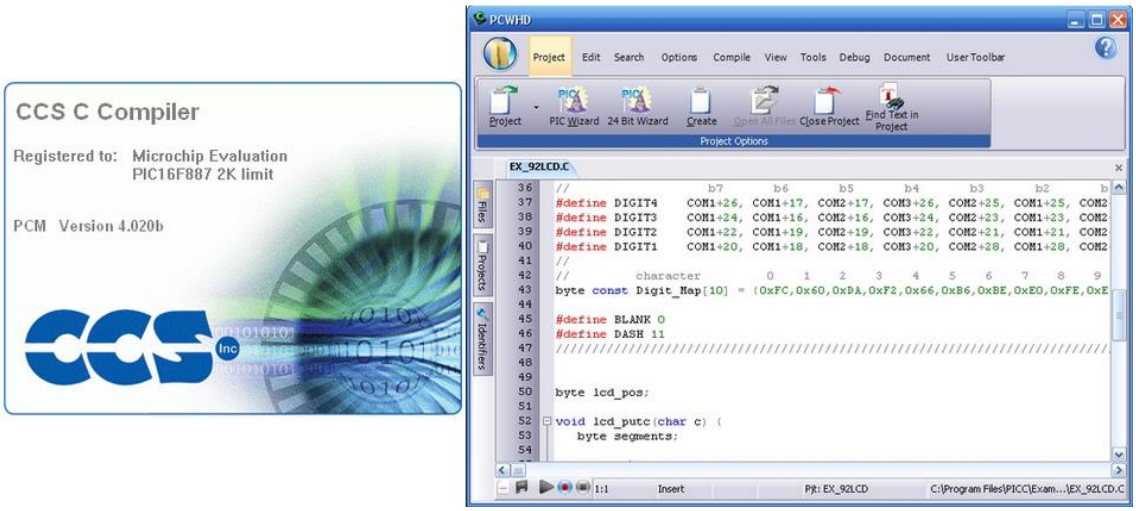


Figure 70 Logo y vista del editor del compilador

Fuente: RoboHobby 2011

4 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE PROPUESTO

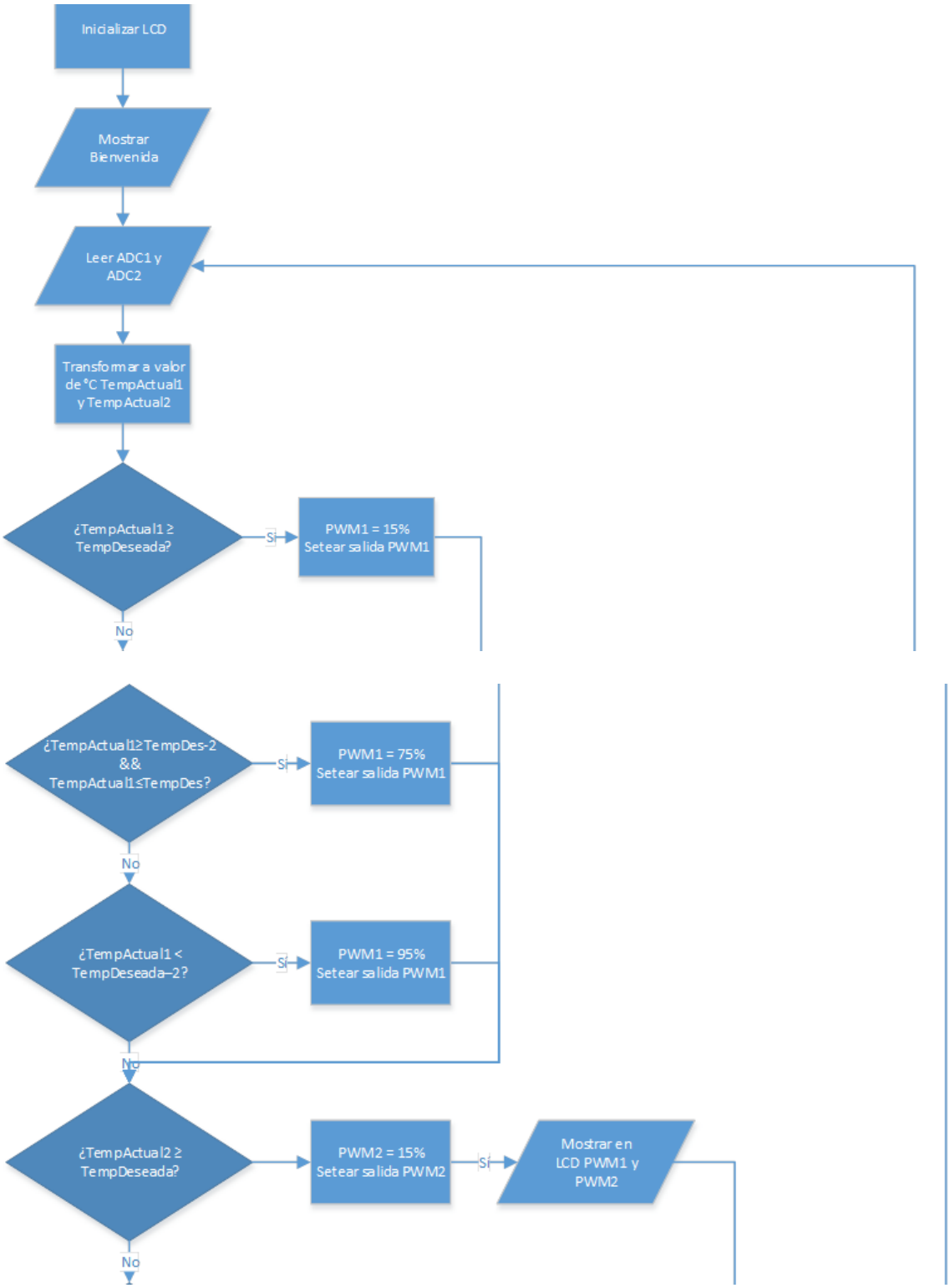
En los capítulos anteriores se ha descrito la problemática en la que se basa este proyecto, los conceptos y definiciones usados en la implementación y la descripción a detalle del desarrollo de la etapa de hardware del proyecto. En este capítulo se describirá la etapa de software del proyecto que comprende únicamente la programación del microcontrolador encargado de controlar la temperatura en la cuna calefactable del sistema prototipo.

4.1 Programación del control de la cuna calefactable

Para la programación del control de potencia de la cuna calefactable a partir de los valores de temperatura que haya dentro del recinto se proponen dos tipos de programación: la primera usando PWM y la segunda usando control on-off, ambos métodos serán descritos a detalle a continuación.

4.1.1 Control proporcional usando PWM para controlar la temperatura de la cuna calefactable

Si bien es cierto que durante el capítulo anterior se describieron las funcionalidades y la lógica en la que se basarán los microcontroladores como parte del hardware, en esta sección se describirá a detalle la primera propuesta de programación realizada para el controlador de la cuna calefactable a través del diagrama de flujo, que es mostrada en la Figura 71, que será posteriormente descrito.


Inicializar LCD
Mostrar Bienvenida
Leer ADC1 y ADC2
Transformar a valor de °C TempActual1 y TempActual2
¿TempActual1 ≥ TempDeseada?
Si
PWM1 = 15% Setear salida PWM1
No
¿TempActual1≥TempDes-2 && TempActual1≤TempDes?
Si
PWM1 = 75% Setear salida PWM1
No
¿TempActual1 < TempDeseada–2?
Si
PWM1 = 95% Setear salida PWM1
No
¿TempActual2 ≥ TempDeseada?
PWM2 = 15% Setear salida PWM2
Si
Mostrar en LCD PWM1 y PWM2
No

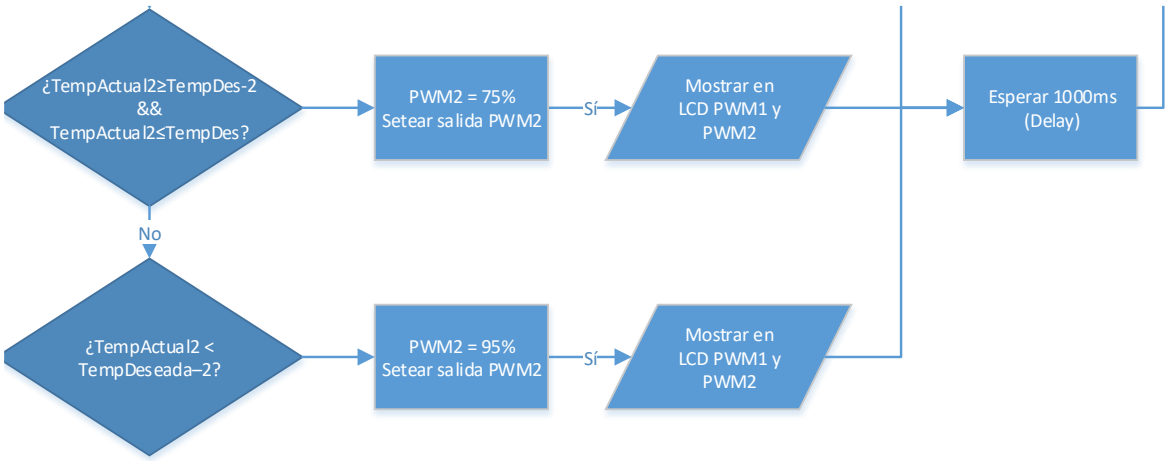


Figure 71 Propuesta del Diagrama de flujo del controlador de cuna calefactable
Fuente: Elaboración propia

La figura 71 muestra el diagrama general de la programación del controlador de la cuna calefactable. El primer paso a seguir es inicializar y definir el tipo de variables a utilizar, tales como el valor inicial de la temperatura actual del sensor, la temperatura deseada y el valor inicial de las variables de PWM.

A continuación, se procede a inicializar los parámetros para el LCD y lo siguiente a realizar es leer el valor analógico del sensor de temperatura para, mediante el ADC, convertirlo en un valor digital interpretable por el microcontrolador.

Una vez obtenidos los valores del sensor de temperatura el siguiente proceso consiste en establecer los casos y rangos de temperatura que se obtuvieron y determinar la salida del duty cycle de los 2 PWM. Para ello se definió lo siguiente el sensor:

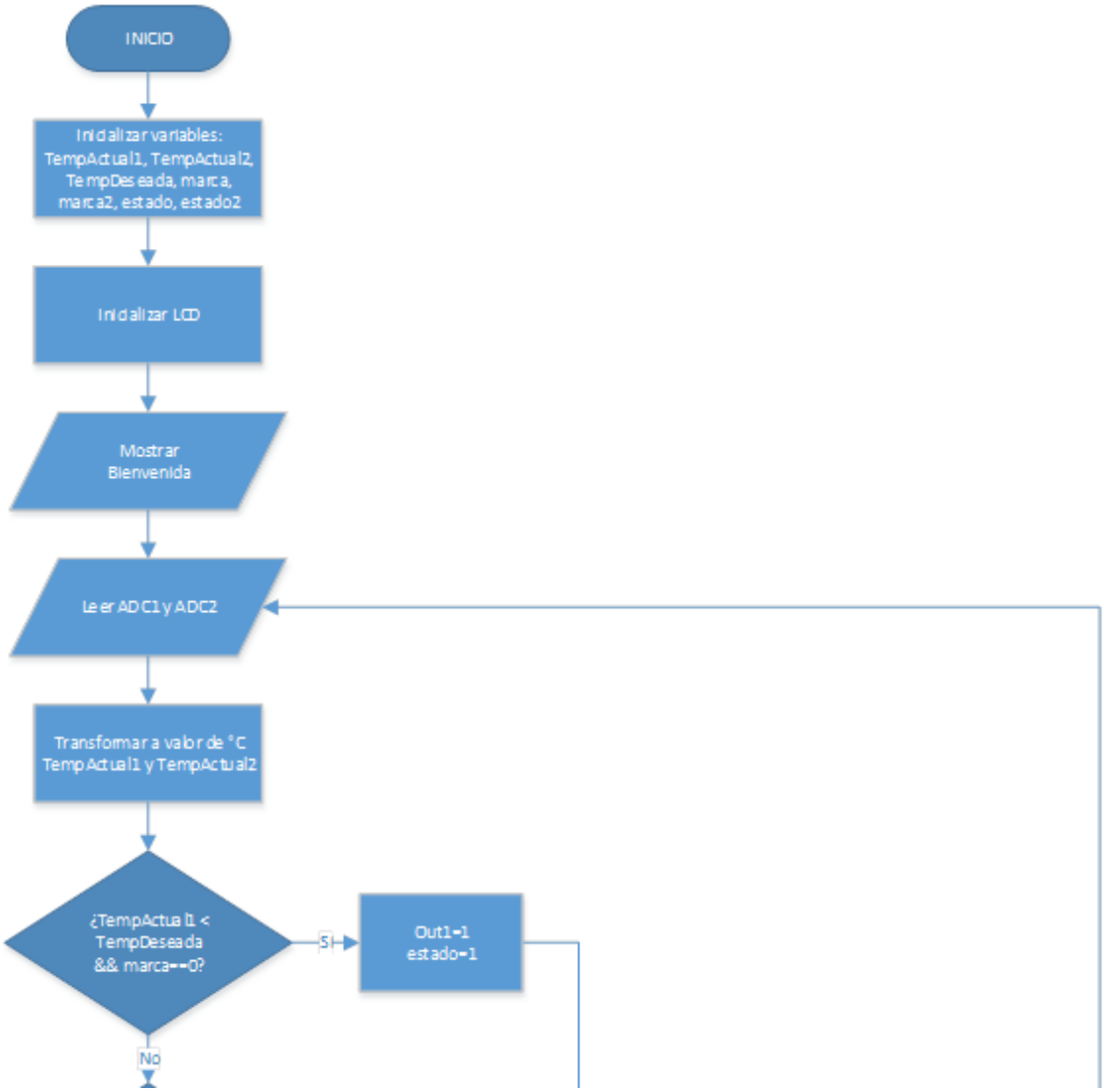
- Si la temperatura actual es mayor o igual a la temperatura deseada se establece que el ciclo de trabajo del PWM sea de 15%. ($Ta > Ti \rightarrow PWM=15\%$).
- Si la temperatura actual es mayor o igual que la temperatura deseada restada en 2 °C y además, la temperatura actual es menor que la temperatura deseada se establece que el ciclo de trabajo del PWM sea de 75%. ($Ta \geq Ti -2 \wedge Ta < Ti \rightarrow PWM=75\%$).
- Si la temperatura actual es menor a la temperatura deseada restada en 2 °C se establece que el ciclo de trabajo del PWM sea de 95%. ($Ta < Ti -2 \rightarrow PWM=95\%$).

Una vez determinado el escenario en el que se encuentra el ambiente de la cuna de acuerdo al sensor de temperatura se procede a mostrar los resultados obtenidos del PWM para cada sensor en la pantalla LCD para monitorear los resultados. Este proceso de sensado, conversión ADC, determinación del nivel de PWM y muestra de los valores en el LCD es repetido cada segundo hasta que el sistema prototipo sea apagado.

4.1.2 Control on-off para controlar la temperatura de la cuna calefactable

Al igual que para la primera propuesta de control usando PWM para esta segunda propuesta se utiliza un microcontrolador para determinar el nivel de temperatura en el ambiente, la cuna también es controlada por un microcontrolador; pero la diferencia es que este control es on-off y solo contempla dos estados.

A continuación, se muestra en la Figura 72 el diagrama de flujo de la segunda propuesta del controlador para la cuna calefactable.



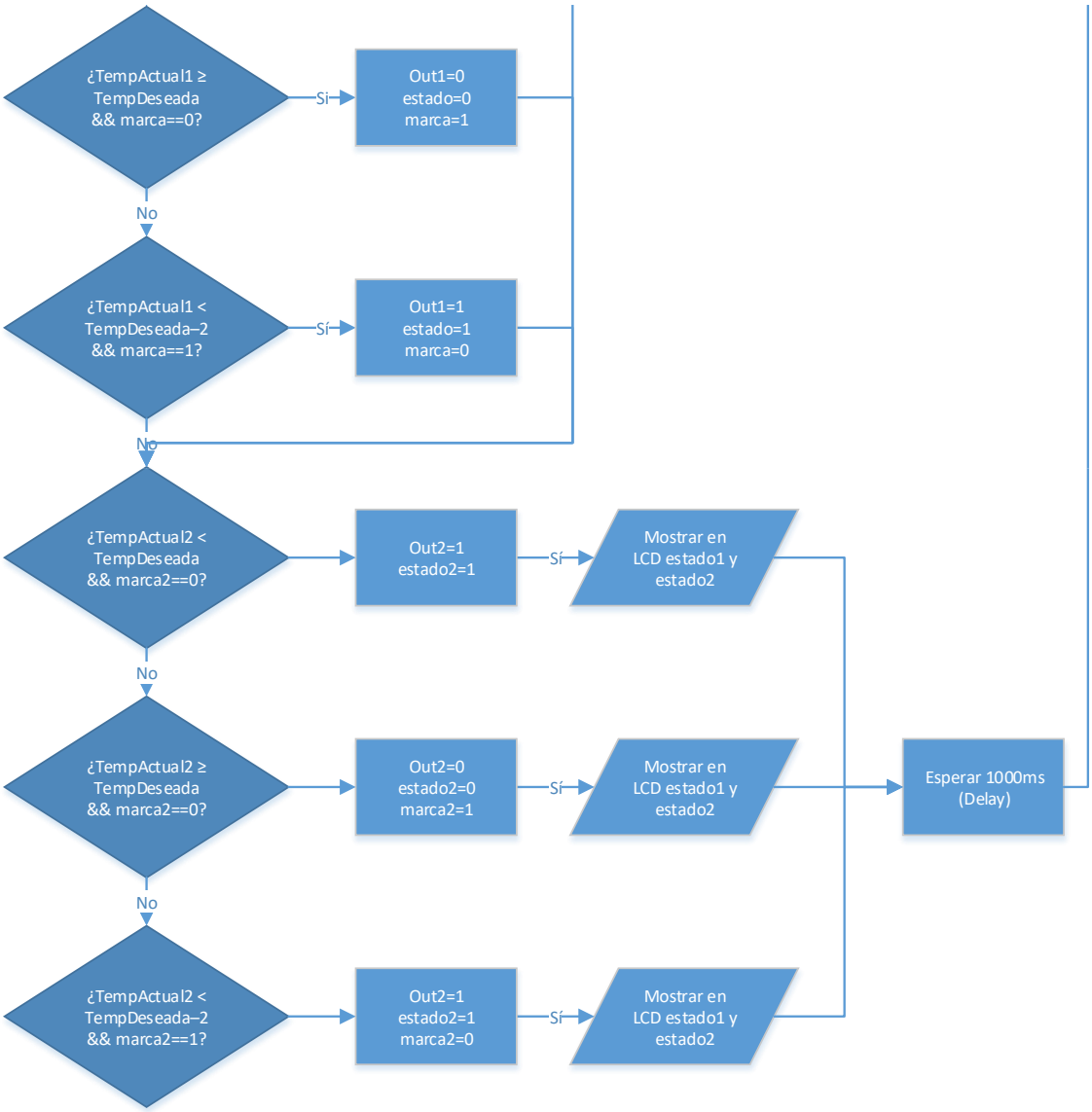


Figure 72 Propuesta 2 del Diagrama de flujo del controlador de cuna calefactable
Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Figura 72, el diagrama de flujo es similar al de la primera propuesta salvo algunas consideraciones que serán explicadas. Lo primero a realizar es la definición e inicialización de las variables y flags a usar. En este caso también se consideran la temperatura actual del sensor, la temperatura deseada, las variables del PWM, y las banderas que ayudarán a ubicar el escenario en el que se encuentra: marca, marca2, estado y estado2 (todos inicializados a 0). Seguidamente se inicializan los parámetros del LCD y a continuación se procede a leer los valores analógicos obtenidos de los sensores de

temperatura para luego convertirlos a valores digitales mediante el ADC del microcontrolador.

Una vez obtenidas el valor de las variables se procede a definir los escenarios de acuerdo al sensor de temperatura para determinar el comportamiento los actuadores -nodos calefactables- considerados independientemente:

- Si la temperatura actual es menor a la temperatura deseada y además, el valor de la bandera “marca” (o marca2 para el segundo nodo) es igual a 0 se establece la salida en nivel “high” para el nodo (Out1=1 para el primer nodo y Out2=1 para el segundo nodo) y la variable “estado” (o estado2 para el segundo nodo) cambia a 1.
- Si la temperatura actual es mayor o igual a la temperatura deseada y además, el valor de la bandera “marca” (o marca2 para el segundo nodo) es igual a 0 se establece la salida en nivel “low” para el nodo (Out1=0 para el primer nodo y Out2=0 para el segundo nodo), la variable “estado” (o estado2 para el segundo nodo) cambia a 0 y la variable “marca” (o marca2 para el segundo nodo) cambia a 1.
- Si la temperatura actual es menor a la temperatura deseada restada en 2 °C y además, el valor de la bandera “marca” (o marca2 para el segundo nodo) es igual a 1 se establece la salida en nivel “high” para el nodo (Out1=1 para el primer nodo y Out2=1 para el segundo nodo), la variable “estado” (o estado2 para el segundo nodo) cambia a 1 y la variable “marca” (o marca2 para el segundo nodo) cambia a 0.

Luego de definir la condición en la que se encuentra la cuna calefactable de acuerdo a los sensores y flags se muestran los resultados obtenidos de estado y estado2 en la pantalla LCD para monitorear los resultados.

Este procedimiento es repetido en un bucle hasta que el sistema prototipo de la cuna calefactable se apague.

El funcionamiento se puede apreciar a través del diagrama de tiempos que indica en la Figura 73.

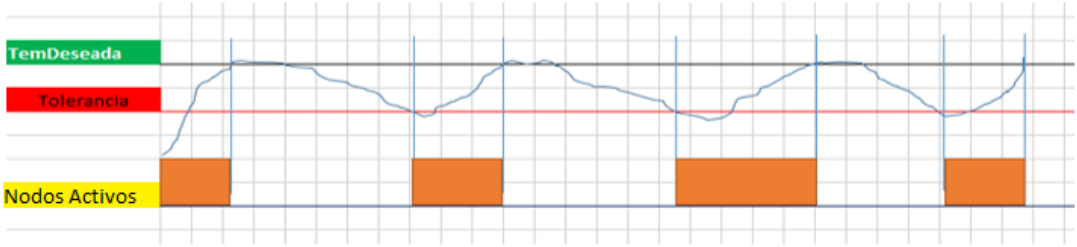


Figure 73 Diagrama de tiempo del controlador de cuna calefactable (Propuesta 2)
Fuente: Elaboración propia

Según la figura 73 y en términos más sencillos, al iniciar por primera vez el circuito se activan los nodos para elevar la temperatura hasta la temperatura deseada, una vez alcanzada esta, se deja de energizar uno de los nodos calefactable, debido a que este en contacto directo con el cuerpo humano y está forrado con un material aislante, comenzará a descender la temperatura, hasta una tolerancia de 2°C por debajo de la deseada, en cuyo momento se volverá a energizar el segundo nodo, repitiéndose este proceso.

Ambas propuestas serán probadas y el resultado de estas serán descritos en el capítulo 5 de validaciones, de acuerdo a ello se escogerá el método de control que se ajuste mejor a nuestro prototipo.

Luego de completar la descripción de la implementación del sistema prototipo en el presente capítulo, se muestra en el siguiente capítulo la parte final que comprende los resultados, pruebas y validaciones del funcionamiento del proyecto desarrollado.

5 PRUEBAS Y RESULTADOS DE VALIDACIÓN

En los capítulos anteriores se describieron la necesidad y problemática de la que surgió el proyecto desarrollado, la descripción teórica de los fundamentos usados para el desarrollo del sistema prototipo y la descripción detallada de la etapa de hardware y software del presente proyecto. Este capítulo comprende la parte final del libro ya que en su contenido se describen los resultados del hardware y software acabado y la disposición de las partes, así como las pruebas realizadas para la validación de los resultados obtenidos versus los resultados esperados.

5.1 Resultado del acabado y disposición de partes

5.1.1 Estación Solar

La estación solar comprende el módulo en el que se encuentra el panel solar, las tarjetas reguladoras de voltaje para alimentar la batería de gel y la batería portátil (power bank) para su posterior uso en el dispositivo creado: Cuna Calefactable. En la Figura 74 se muestra el panel solar en una vista frontal.

Figure 74 Parte frontal del panel solar sobre su estructura

Fuente: Elaboración propia

El Panel solar se encuentra recostado en una estructura de aluminio tal como se observa en la Figura 75, la cual cuenta con un dispositivo que le permite variar su inclinación para poder orientarse fácilmente en dirección del sol, tal como se contempló desde el inicio del proyecto. Esto dispositivo se muestra en la Figura 76.

Figure 75 Parte lateral del panel solar sobre su estructura

Fuente: Elaboración propia

Figure 76 Dispositivo que permite el ajuste del ángulo
Fuente: Elaboración propia

En la parte posterior de la estructura se muestra el tablero de las tarjetas reguladoras, la cual se observa en la Figura 77, para uniformizar y controlar la energía eléctrica que

genera el panel, de forma variante e irregular; así como la salida USB en la tarjeta que regula a 5V, para que sea posible la carga del power bank.

Figure 77 Tablero de Control de Carga del panel Solar
Elaboración Propia

A continuación, en la Figura 78, podemos tener una vista genérica de las conexiones de las tarjetas (en paralelo) compartiendo la misma entrada (borneras del panel solar)

Figure 78 Conexión del tablero al Panel Solar
Elaboración Propia

Tal como se observa en la Figura 78, hay dos tarjetas reguladoras: la primera regula el voltaje a 13.8 V, voltaje necesario para cargar la batería de gel de 12 V - 7 Ah; la segunda regula el voltaje del panel solar a 5V, voltaje necesario para cargar el power bank.

El detalle de sus funcionamientos se explicó en el Capítulo 3, correspondiente al detalle del Hardware.

En el siguiente grupo de imágenes de la Figura 79 y la Figura 80 se mostrarán las 4 etapas en el diseño del circuito impreso: Diseño esquemático, Ruteado de pistas, Impresión del circuito en fibra de vidrio, y soldado de componentes.

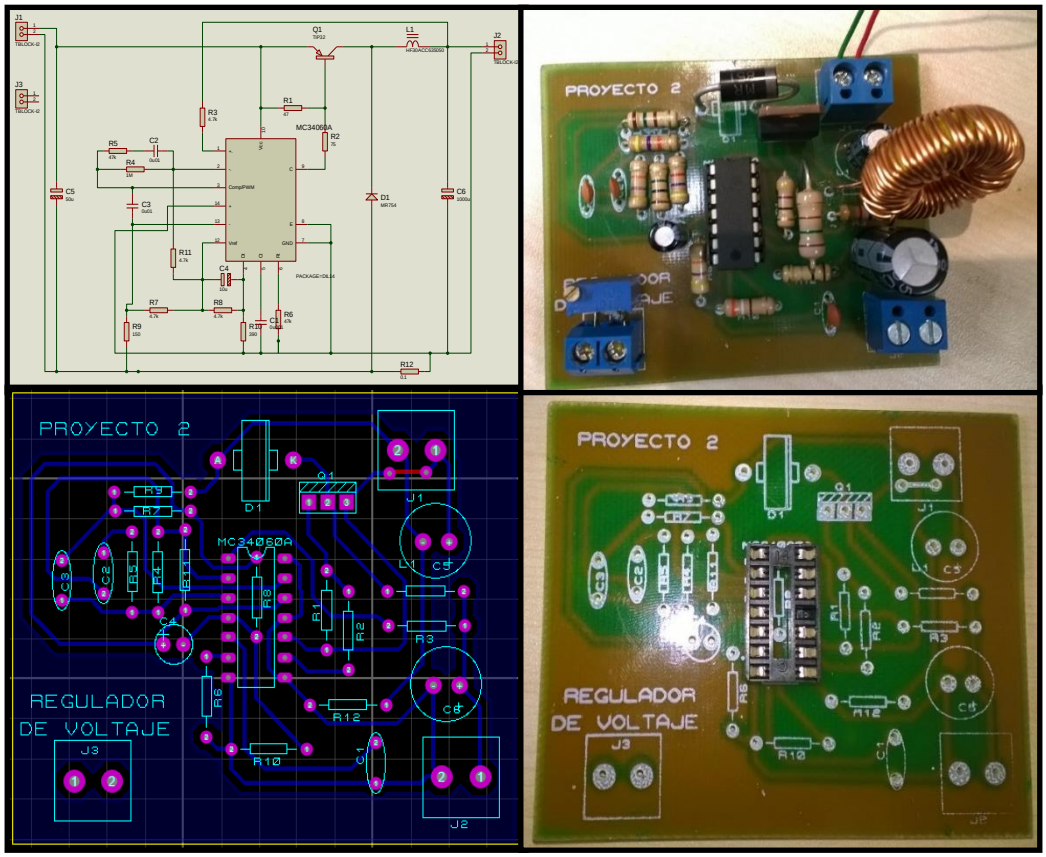


Figure 79 Regulador de voltaje a 13.8 V
Fuente: Elaboración propia

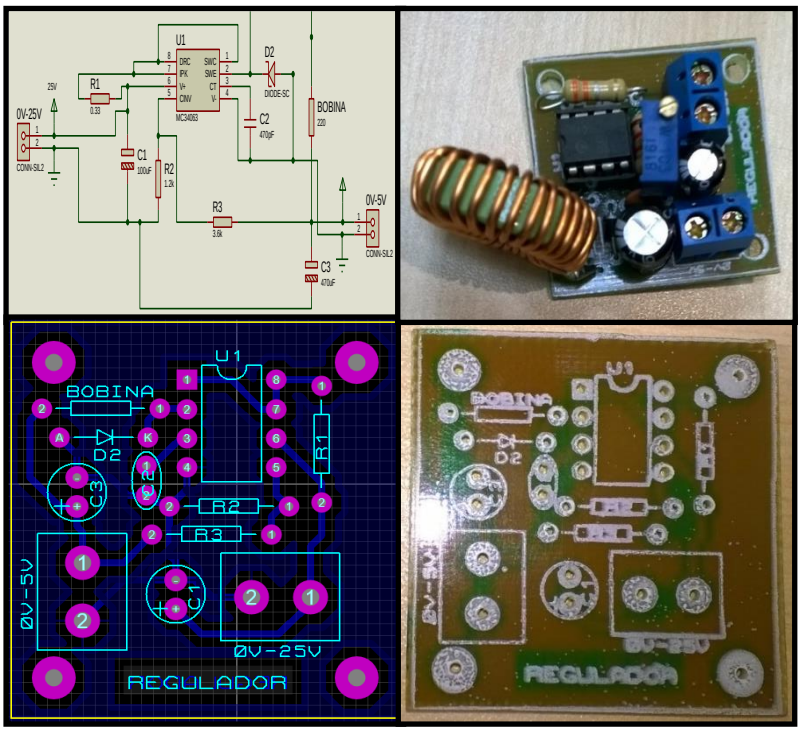


Figure 80 Regulador de voltaje a 5 V
Fuente: Elaboración propia

5.1.2 Cuna Calefactable

En la Figura 81 se observa el recinto usado para esta cuna es de material de madera de las medidas 49x39x28 cm, con una tapa doble de acrílico para que funcione como aislante. Ambos materiales seleccionados por su fácil nivel de limpieza y resistencia, a la vez que pueden ser esterilizados para el uso real con bebes. Además, se eligió madera como material principal de la cuna por su alto nivel de aislamiento térmico.

Figure 81 Parte frontal del prototipo de la cuna calefactable
Fuente: Elaboración propia

Cuenta con una tapa doble de acrílico para mejorar el aislamiento térmico del exterior, pero existe una rendija libre para hacer circular el aire por convección una vez que se logra calentar el interior. Además, dentro de la cuna se tiene una caja de paso en la cual se encuentra el circuito del puente H, quien por el calor que emite ayuda a incrementar la temperatura dentro de la cuna. Este detalle se puede observar en la Figura 82.

Figure 82 Interior del prototipo de la cuna calefactable
Fuente: Elaboración propia

La Figura 83 muestra que en la parte posterior, la cuna cuenta con un interruptor para todo su sistema y un fusible dentro de ella como protección para evitar problemas de sobrecalentamiento a causa de un cortocircuito.

Figure 83 Parte posterior del prototipo de la cuna calefactable
Fuente: Elaboración propia

La Figura 84 muestra el puente H incorporado para esta etapa del proyecto, el cual se encuentra en la parte interior de la caja de pasa dentro de la cuna. Este circuito se encarga de recibir de alimentación los 12V de la batería de gel y controlar sus salidas para entregar un PWM con una corriente de hasta 2A por cada bornera. Para alimentar al microcontrolador se usa el power bank a 5V.

Figure 84 Puente H
Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la Figura 85 muestra la tarjeta controladora del sistema de la cuna. En ella se contemplaba la posibilidad de usar como etapa de potencia dos TIP32, pero luego se eligió usar el puente H como primer prototipo.

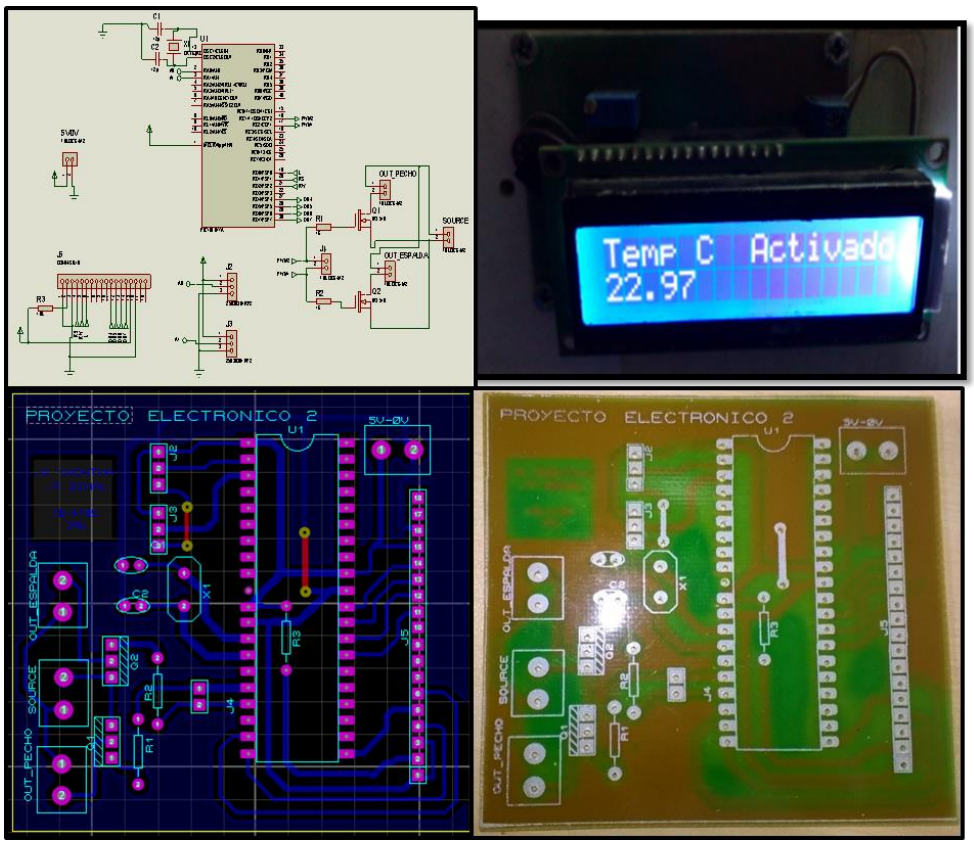


Figure 85 Tarjeta Controladora de la cuna calefactable
Fuente: Elaboración propia

La pantalla LCD 2x16 que se aprecia en la Figura 86, es solo para facilitar las observaciones de la lectura del sensor y los estados que tienen los actuadores. Queda implícito que este periférico no representa una pieza fundamental en el diseño de este prototipo, pero debido a que el sensado de la temperatura y el efecto calefactor son variables un tanto “abstractas” al ojo humano, se decidió incluirlo para una mejor visualización en la validación del funcionamiento, así como en la presentación del mismo y además considerando que no interfiere con la comodidad de su uso, se podría mantener en producción.

Figure 86 LCD mostrando detalle de funcionamiento
Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la Figura 87, se muestra el interior de uno de los nodos calefactables, los cuales constan de dos porciones de tela, que llevan en su interior una malla de hilo de nicrom #39. En un extremo libre de tela se ha cocido el sensor de temperatura LM35, pues la idea es medir la temperatura que ellos producen y proporcionan a la piel aledaña al nodo. Por eso se encuentra alejado de la malla interna de nicrom.

Figure 87 Vista de los nodos calefactables para la cuna
Fuente: Elaboración propia

Por último, podemos apreciar en la Figura 88 que la cuna cuenta con una salida USB, usada para alimentar a la tarjeta de control y al LCD.

Figure 88 Salida USB
Fuente: Elaboración propia

5.2 Métodos de Validación

5.2.1 Consumo energético

Para la validación de los resultados se contemplaron distintos métodos de acuerdo a lo requerido por el sistema prototipo.

La primera validación realizada es la del consumo energético de los diferentes actuadores (nodos calefactables) de la cuna calefactable; esta validación fue importante ya que cada etapa del sistema prototipo se dimensionó el consumo para que el sistema pueda ser energizado por sus fuentes de alimentación determinadas (batería de gel y power bank).

Estas pruebas fueron realizadas utilizando la fuente de alimentación **MOTECH LPS-305** proporcionada por el laboratorio de la carrera de Ingeniería Electrónica de la UPC, ya que en dicha fuente, al proporcionarle el voltaje requerido por cada etapa, era apreciable el consumo de corriente.

Fuentes de alimentación:

La Figura 89 muestra las especificaciones del power bank: capacidad 1500mAh

Figure 89 Especificaciones del PowerBank
Elaboración propia.

Es por ello que se decidió diseñar el controlador de tal forma que pueda ser alimentado con la salida de 5V/ 1A. Cabe resaltar que durante las pruebas notamos que la capacidad de este power excede la cantidad de Voltaje / Amperaje necesarios para alimentar la tarjeta controladora y el LCD por lo que finalmente se usó un power bank de menor capacidad (1500 mAh).

Cada nodo fue diseñado para consumir 0.90A al ser alimentados con 12Vdc la cual es la alimentación que proporciona la batería de gel. La Figura 90 muestra el consumo energético de un nodo alimentado con 12V.

Figure 90 Consumo energético de un nodo calefactable (cuna)
Fuente: Elaboración propia

Al realizar pruebas con el sistema prototipo, la salida del puente H que alimentaba a los nodos es de aproximadamente 10.5 V y el consumo de cada es de 0.7A. A continuación los resultados obtenidos en la Figura 91.

Figure 91 Consumo de corriente al energizar el nodo con 10.5V
Elaboración propia

Con la imagen anterior, validamos que el consumo energético de cada nodo es menor a 1A, por ello entre los dos, a pleno funcionamiento, consumen menos de 2A, que es incluso menor a la salida permitida por la batería de gel.

Además, estos resultados muestran cuánto seria el consumo máximo posible estimado. Sin embargo, las siguientes imágenes sirven para validar esta hipótesis, así como mostrar el detalle del consumo energético en los diferentes escenarios como se observa en la Figura 92 a máximo consumo, en la Figura 93 con consumo de solo el nodo izquierdo y en la Figura 94 el consumo de solo el nodo derecho.

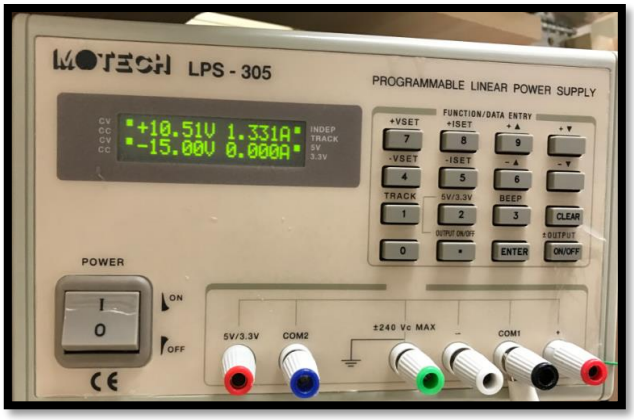


Figure 92 Consumo energético a máximo consumo
Fuente: Elaboración propia

Figure 93 Consumo energético a medio consumo (nodo izquierdo)
Fuente: Elaboración propia

Figure 94 Consumo energético a medio consumo (nodo derecho)
Fuente: Elaboración propia

La Figura 95 muestra el consumo energético de la tarjeta controladora, con ambos estados en 1, es decir con ambos relays energizados, y el LCD de 2X16, pero sin energizar la etapa de potencia.

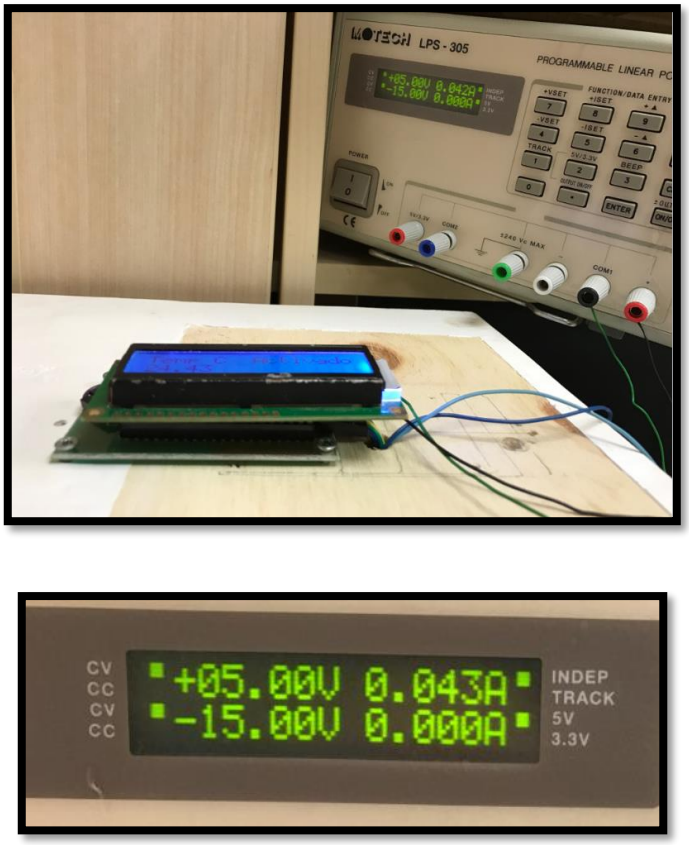


Figure 95 Consumo energético de la tarjeta controladora
Elaboración Propia

Como podemos observar, el consumo es de solo aproximadamente 43mA, por eso podemos asegurar que la salida de 5V/1A del power bank es suficiente, más aun cuando ya se ha señalado que el display no sería un periférico necesario al pasar este sistema prototipo a una producción real.

Por otro lado, también se realizaron validaciones en los niveles de voltajes que entregan los diferentes dispositivos de almacenamiento o generación de energía, siendo el primero de estos el panel solar:

Las pruebas de medición del panel solar fueron realizadas durante dos días, en intervalos de dos horas iniciándolas a las 6am tal como se muestra en la Tabla 16.

Table 16 Mediciones del Voltaje entregados por el panel solar
Elaboración Propia

Hora	Día 1	Día 2
6:00 am	16.5 V	17.2 V
8:00 am	16.8V	16.4 V
10:00 am	17.4V	18.7 V
12:00 pm	21.3 V	19.0 V
2:00 pm	20.0 V	19.1 V
4:00 pm	17.3 V	18.4 V
6:00 pm	17.5 V	16.3 V

En la figura 96 se muestran las mediciones de voltaje del panel solar en diferentes horas del día.

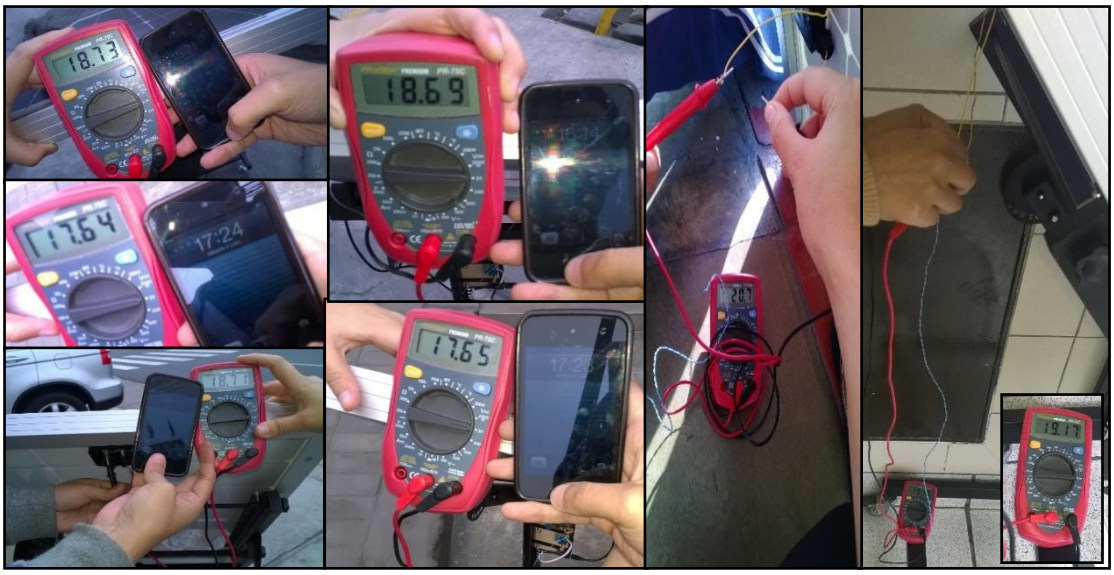


Figure 96 Mediciones de Voltaje del Panel Solar en diferentes horas del día
Fuente: Elaboración propia

Luego de conectados los circuitos reguladores de carga al Panel Solar. Se realizaron los ajustes necesarios y se procedió a validar que cada uno entregue los 5V y 13.8V requeridos para el funcionamiento de la y cuna calefactable.

La Figura 97 muestra la salida de voltaje del regulador a 5V/1 A

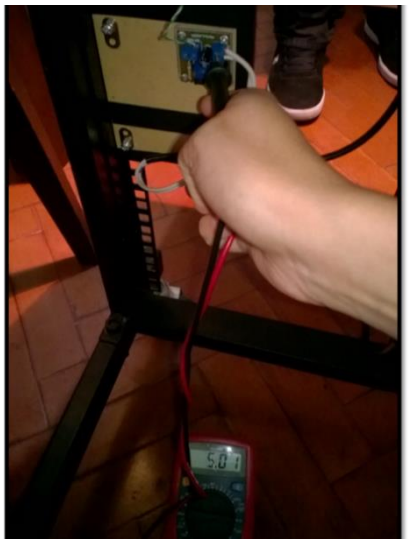


Figure 97 Salida de Voltaje del regulador conectado al panel solar
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 98 se muestra la salida de voltaje del regulador a 13.8V, para la carga de la batería de gel.

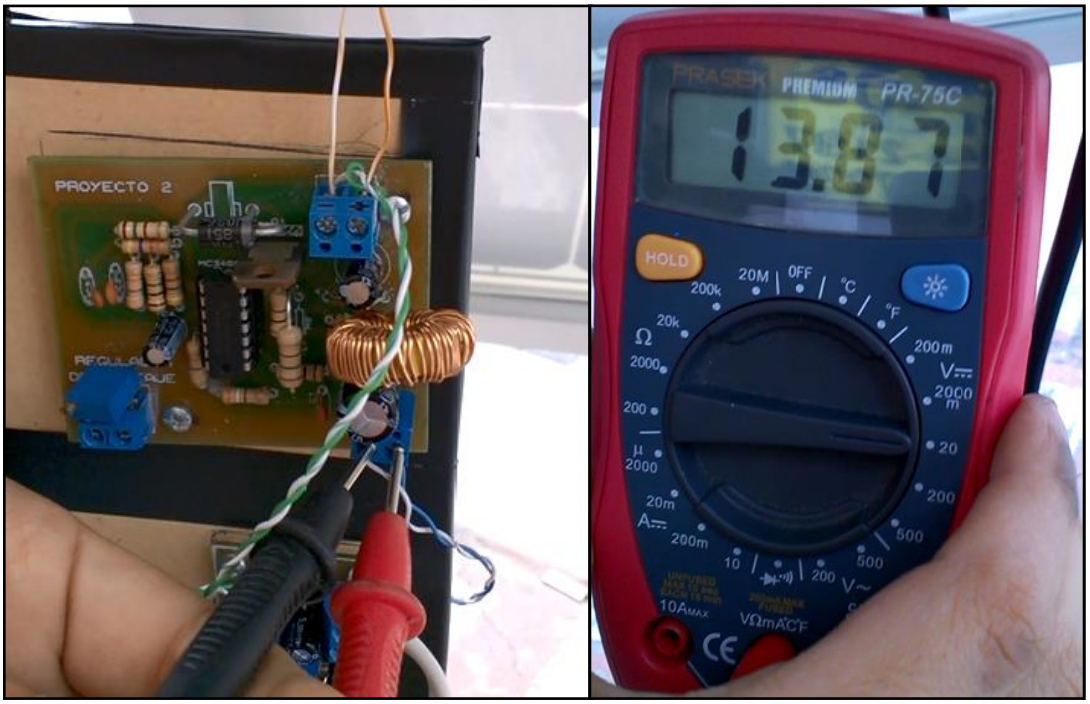


Figure 98 Salida del regulador de 13.8V, conectado al Panel solar
Fuente: Elaboración propia

5.2.2 Validaciones de Carga y Descarga

Para validar la duración real de las baterías, se las conectó en modo de uso continuo (nodos calefactables conectados a las Fuentes de alimentación directamente) y los resultados fueron los siguientes:

- Power bank totalmente descargado y conectado al panel Solar, tardó desde las 6AM hasta las 4PM en dejar de parpadear sus leds indicadores (Full Carga) tal como se observa en la Figura 99.

Figure 99 Carga del power bank mediante circuito armado en protoboard
Elaboracion propia

- Batería de Gel de 12V, se cargó desde las 6AM hasta las 6PM sin ajustar la orientación del panel.

- Se realizó un Segundo test de carga (Figura 100) complete par ambas baterías, pero esta vez se ajustó el Angulo d panel solar cada dos horas, y el resultado fue el mismo para el power bank, sin embargo, el tiempo de carga de la batería de gel (Figura 101) se redujo desde las 6AM hasta las 5PM, momento en el cual su consumo de corriente era mínimo.

Figure 100 Seguna carga del Power Bank
Elaboracion propia

Figure 101 Test de carga de la batería de Gel conectada al panel solar
Elaboracion propia

- La descarga del power bank, conectada directamente a la tarjeta controladora + LCD fue de 36 horas de uso continuo, lo cual fue un resultado mejor de lo esperado, dado que las primeras pruebas fueron con otro power bank de 30000 mAmp pero que al ser analizadas internamente se verificó que las batería no eran de la capacidad descrita en las especificaciones.

- Por otro lado, la batería de Gel 12V/7AH, en las pruebas de descarga integrales, energizando la cuna, se descargó a las 5 horas, aún asi, debido a que la cuna debe

funcionar por lo menos durante toda la noche con uso continuo, el sistema en producción debería contemplar usar dos baterías en paralelo para garantizar la autonomia completa.

- La duracción de descarga de esta batería se acerca bastante al ideal, debido a que el controlador, sólo usa un alto consumo de corriente al inicio (95% de los 1.4 A para ambos nodos) y una vez alcanzada la temperatura ideal, configurada a 10° C más que la inicial, pasa a consumir el 50%, reduciendo significativamente el consumo de corriente. Contemplando este ahorro energético, y y contemplando que la capacidad real esta lejos de los 7Ah, se logra un balance, y ante el usuario final, se podría decir que la batería de gel se comporta de manera ideal según sus especificaciones técnicas.

- Se analizó que en las validaciones de descarga de la batería de gel alimentando a la calefacción de la cuna la rapidez en la que la temperatura va aumentando se desarrolla más rápido en los primeros minutos y a medida que trasncurren los minutos el sistema tarda más en elevar la temperatura de la cuna. En la Tabla 17 se muestran los valores obtenidos en la práctica.

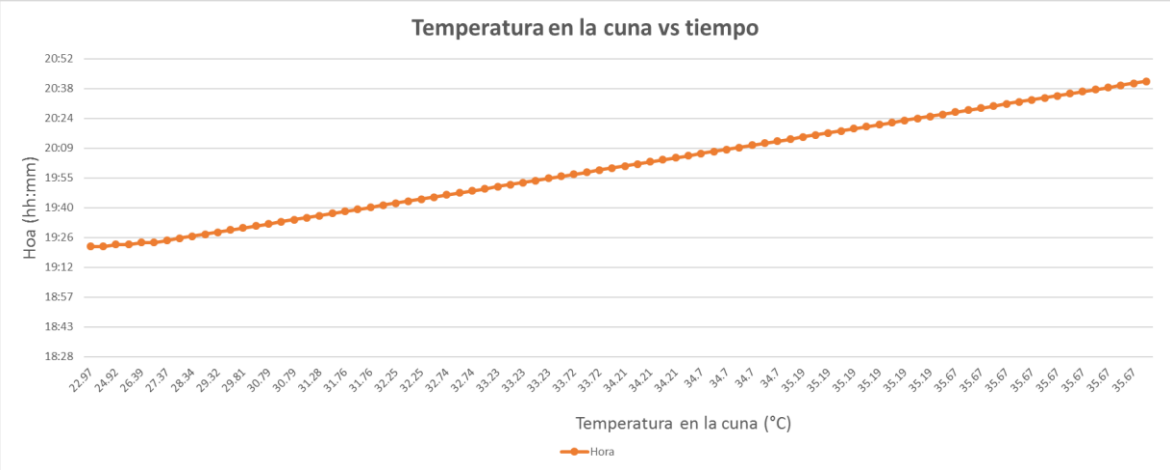
Table 17 Tabla de valores de temperatura en la cuna calefactable
Elaboración Propia

Hora	Temperatura (°C)	Minuto (')
19:22	22.97	0
19:22	24.43	0
19:23	24.92	1
19:23	25.41	1
19:24	26.39	2
19:24	26.88	2
19:25	27.37	3
19:26	27.85	4
19:27	28.34	5
19:28	28.83	6
19:29	29.32	7
19:30	29.81	8
19:31	29.81	9
19:32	30.3	10
19:33	30.79	11
19:34	30.79	12
19:35	30.79	13
19:36	31.28	14

19:37	31.28	15
19:38	31.28	16
19:39	31.76	17
19:40	31.76	18
19:41	31.76	19
19:42	32.25	20
19:43	32.25	21
19:44	32.25	22
19:45	32.25	23
19:46	32.74	24
19:47	32.74	25
19:48	32.74	26
19:49	32.74	27
19:50	32.74	28
19:51	33.23	29
19:52	33.23	30
19:53	33.23	31
19:54	33.23	32
19:55	33.23	33
19:56	33.72	34
19:57	33.72	35
19:58	33.72	36
19:59	33.72	37
20:00	33.72	38
20:01	34.21	39
20:02	34.21	40
20:03	34.21	41
20:04	34.21	42
20:05	34.21	43
20:06	34.7	44
20:07	34.7	45
20:08	34.7	46
20:09	34.7	47
20:10	34.7	48
20:11	34.7	49
20:12	34.7	50
20:13	34.7	51
20:14	35.19	52
20:15	35.19	53
20:16	35.19	54
20:17	35.19	55
20:18	35.19	56
20:19	35.19	57
20:20	35.19	58

20:21	35.19	59
20:22	35.19	60
20:23	35.19	61
20:24	35.19	62
20:25	35.19	63
20:26	35.67	64
20:27	35.67	65
20:28	35.67	66
20:29	35.67	67
20:30	35.67	68
20:31	35.67	69
20:32	35.67	70
20:33	35.67	71
20:34	35.67	72
20:35	35.67	73
20:36	35.67	74
20:37	35.67	75
20:38	35.67	76
20:39	35.67	77
20:40	35.67	78
20:41	35.67	79
20:42	36.16	80

Estos resultados se pueden apreciar mejor de manera gráfica tal como se muestra en la Figura 102 a nivel de hora medida y minutos transcurridos



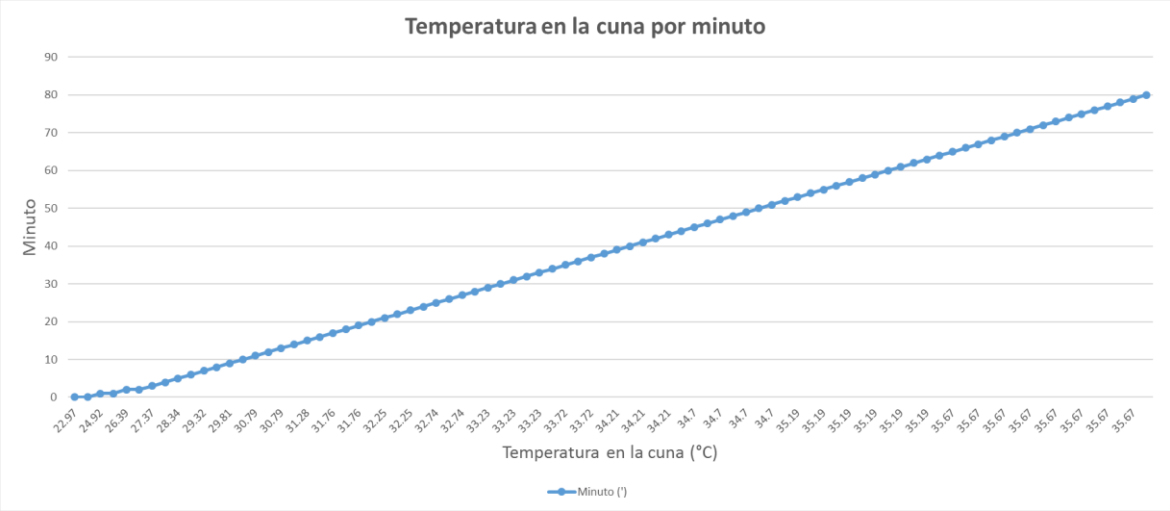


Figure 102 Gráfico de incremento de temperatura en cuna calefactable según el tiempo
Fuente: Elaboracion propia

De las gráficas además se observa que en los primeros 10 minutos la temperatura se incrementa en 7.33° C mientras que en los siguientes 10 minutos se incrementa en 26% de lo que aumentó al principio, 1.95° C. En la Tabla 18 se observa la variación de temperatura cada 10 minutos.

Table 18 Incremento de temperatura en cuna cada diez minutos
Fuente: Elaboración propia

Minuto (min)	Variación de Temperatura en cuna (°C)
10	7.33
20	1.95
30	0.98
40	0.98
50	0.49
60	0.49
70	0.48
80	0.49

- Tal como se ha demostrado en las paginas anteriores, el diseño de nuestro sistema y su consumo energético ha sido validado con equipos especializados, y todo el sistema de la cuna calefactable más la tarjeta controladora y circuito puente H no consume mas de 2 A.

5.2.3 Eficiencia del sistema

Dada la potencia suministrada a la cuna, el tiempo necesario para variar la temperatura inicial en 10 ºC es de 74.256 Cal/4.8852Cal/s = 0.2533361 min. Sin embargo, durante las pruebas realizadas, el sistema tardo aproximadamente 13min, lo cual representa una eficiencia energética del 2%, ya que el 98% de las calorías suministradas al sistema se disipan en la circulación de aire para que el neonato respire.

5.2.4 Escalamiento del sistema

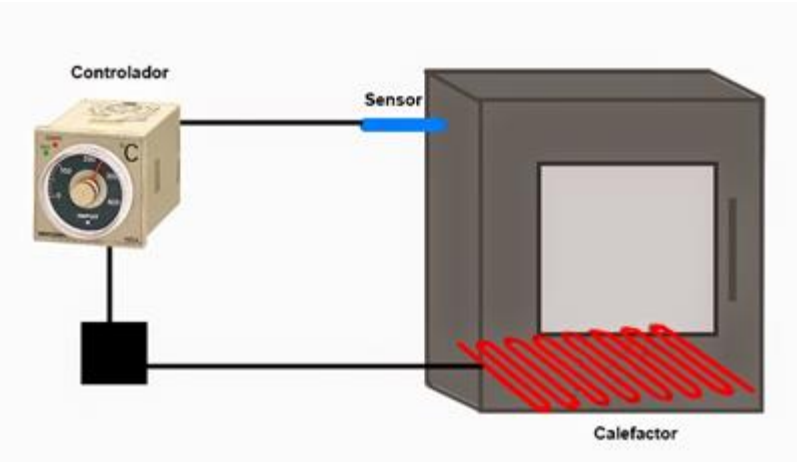


Figure 103 Imagen referencial del sistema
Fuente: Elaboracion propia

Considerando las condiciones actuales del sistema según la Figura 103, es decir una potencia disipada de 20.35W (4.8852cal/s), se muestra a continuación la curva de calorías necesarias para incrementar la temperatura de la cuna en al menos 10 grados centígrados, considerando que se empiece a escalar el tamaño de la cuna sin variar el hardware ni el consumo.

La nueva cantidad de calorías necesarias impactará directamente en el tiempo en que el sistema alcance su Set Point. Actualmente, el prototipo de la cuna cuenta con un volumen de 0.024m3 y se necesitan 74.256cal para variar en 10 grados centígrados la temperatura del interior de la cuna. Esto puede apreciarse en la figura 104.

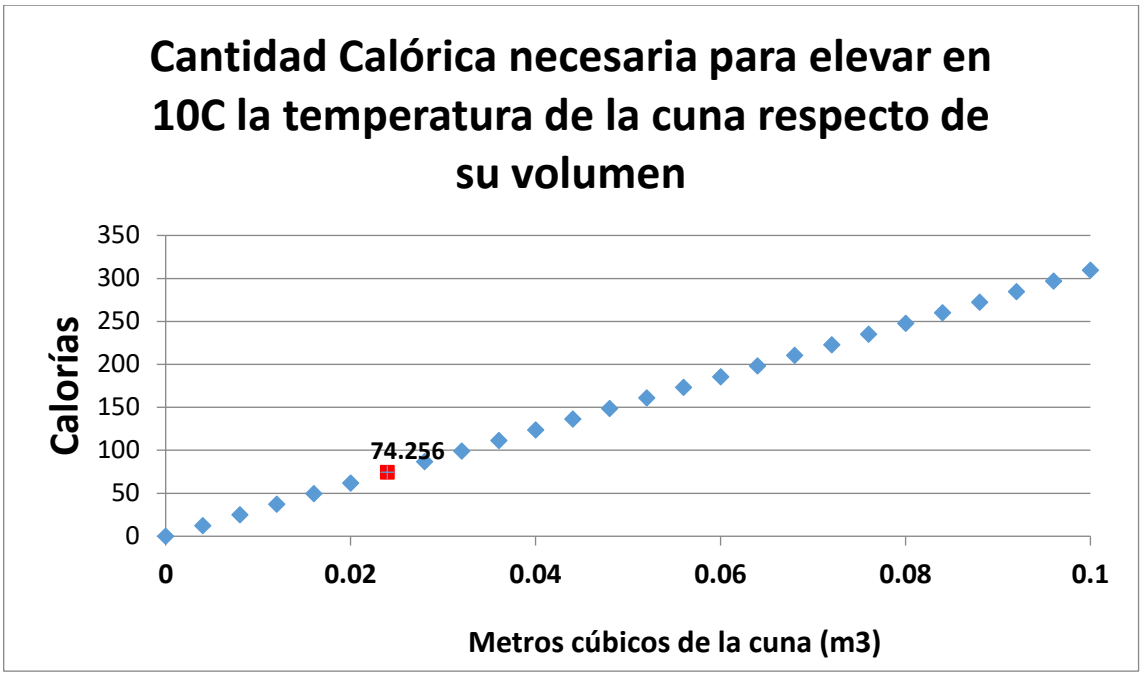


Figure 104 Gráfico de escalamiento de cantidad calorica necesaria para elevar en 10°C la temperatura de la cuna respeccto a su volumen

Fuente: Elaboracion propia

Por otro lado, dado que no se puede generar un recinto herméticamente cerrado pues se necesita ventilación natural, este sistema presenta poca eficiencia en respecto de la potencia consumida y entregada al sistema; la gran mayoría se pierde en el exterior, pero en este caso, el sistema debe funcionar así dado los requerimientos de ventilación.

De todas formas, se puede mejorar en el material de manufactura, para reducir la perdida de calor por las paredes y la base. A continuación, en la Figura 105 se muestra el comportamiento del sistema actual si se lograra variar la eficiencia con el cambio de ciertos materiales. Es una curva teórica y se debe recalcar que los valores cercanos al 100% son solo hipotéticos.

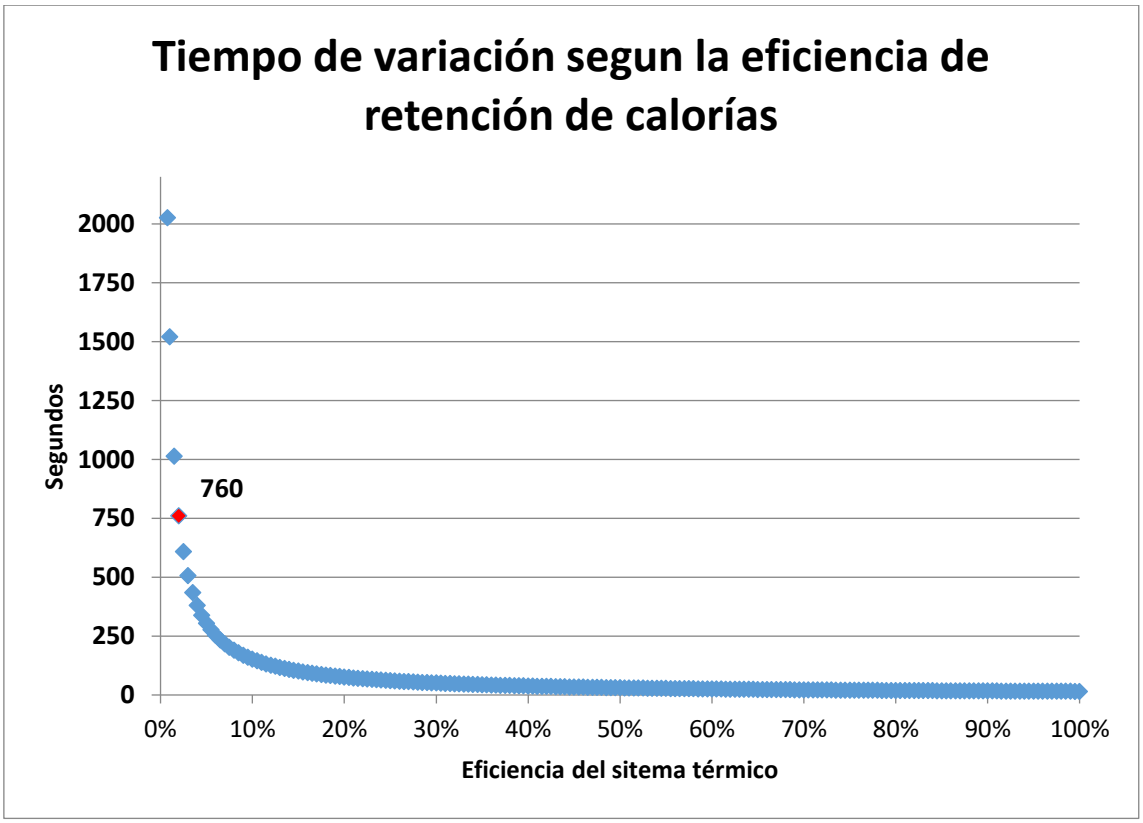


Figure 105 Gráfico de tiempo de variación según la eficiencia de retención de calorías
Fuente: Elaboracion propia

El sistema actual logra elevar la temperatura, en al menos 10 grados centígrados, en aproximadamente 760 segundos, lo que representa una eficiencia del 2% de la potencia generada y entregada al interior de la cuna.

5.3 Informe económico

Para la implementación del sistema prototipo desarrollado se calcularon los siguientes costos mostrados en la Tabla 19.

Table 19 Costos de implementación del Sistema prototipo
Fuente: Elaboración propia

Ctdad.	Hardware/ Componente	Precio Unit.	Precio Total
1	Panel Solar de 100 Watts	500.00	500.00
1	Estructura de Estación Solar	150.00	150.00
1	Power Bank 30000 mA	75.00	75.00
1	Batería de gel 12 V 7Ah	60.00	60.00

1	Prototipo de cuna (incluye mano de obra)	60.00	60.00
1	Metro de tela polar	10.00	10.00
1	Hilo de coser	3.00	3.00
1	Cinta de teflón	5.00	5.00
1	Cinta aislante	5.00	5.00
3	Metros de Resistencia de Nicrom	1.60	4.80
2	Conectores USB	1.00	2.00
5	Metros de cable multifiliar	1.00	5.00
1	CI de Puente H	15.00	15.00
1	Tarjeta de control de cuna	55.30	55.30
1	Tarjeta reguladora a 5V	26.20	26.20
1	Tarjeta reguladora a 13.8V	43.82	43.82
		Costo Total en Soles:	**1020.12**

Además en la Tabla 20 se muestran el costo detallado de la tarjeta utilizada en la cuna calefactable.

Table 20 Costo de tarjeta de control de cuna calefactable
Fuente: Elaboración propia

Ctdad.	Tarjeta de control de cuna	Precio Unit.	Precio Total
2	Resistencias	0.05	0.10
2	Condensadores cerámicos	0.10	0.20
1	Cristal 4MHz	0.50	0.50
1	PIC 16F877A	14.00	14.00
1	Bornera	0.50	0.50
1	Display LCD (opcional)	14.00	14.00
1	Circuito impreso en fibra de vidrio (incluye soldado y armado)	20.00	20.00
		Costo Total en Soles:	**49.30**

En la Tabla 21 se indica el detalle del costo de la tarjeta reguladora a 5V y en la tabla 22 el costo de la tarjeta controladora a 13.8 V.

Table 21 Costo de tarjeta reguladora a 5 V
Fuente: Elaboración propia

Ctdad.	Tarjeta reguladora a 5V	Precio Unit.	Precio Total
2	Resistencias	0.05	0.10
1	Potenciómetro	0.50	0.50
1	Bobina toroidal	3.00	3.00
2	Condensadores electrolíticos	0.50	1.00
1	Condensador cerámico	0.10	0.10
2	Borneras	0.50	1.00
1	Diodo	2.00	2.00
1	CI 34063	3.50	3.50
1	Circuito impreso en fibra de vidrio (incluye soldado y armado)	15.00	15.00
		Costo Total en Soles:	**26.20**

Table 22 Costo de tarjeta reguladora de 13.8 V
Fuente: Elaboración propia

Ctdad.	Tarjeta reguladora a 13.8V	Precio Unit.	Precio Total
11	Resistencias	0.05	0.55
1	Potenciómetro	0.50	0.50
1	Bobina toroidal	3.00	3.00
3	Condensadores electrolíticos	0.50	1.50
3	Condensador cerámico	0.10	0.30
2	Borneras	0.50	1.00
1	Diodo	2.00	2.00
1	CI 34060	14.00	14.00
1	TIP 32	1.00	1.00
1	Circuito impreso en fibra de vidrio (incluye soldado y armado)	20.00	20.00
		Costo Total en Soles:	**43.85**

Como se muestra en las tablas la implementación del sistema prototipo tiene un costo de S/. 1020.12. Si bien este costo podría parecer elevado considerando que el proyecto se desea

implementar en zonas de bajos recursos se debe tener en cuenta que dicho costo se eleva principalmente al panel solar y su estructura (S/.650.00). Este costo es realizado una sola vez y el panel solar es una fuente de energía ilimitada y su tiempo de vida es de 30 años por lo que su uso podría extenderse en épocas donde no hay friaje en la zona. Siendo así se observa que el costo restante del sistema es de S/. 370.12 el cual es accesible para una ONG o el gobierno de adquirir. Además se debe tomar en cuenta que los insumos son de bajo costo por lo que mantener el sistema bajo condiciones óptimas no representa una gran inversión.

Si consideramos productos similares, tal como se mencionó en el estado del arte en el primer capítulo existen casacas calefactables para usos deportivos los cuales son de elevado precio. En la Figura 106 se muestran algunos de ellos en la marca Kernok.

Figure 106 Casacas calefactables de la marca Kernok
Fuente: Heatsport

Tal como se muestra en las imágenes estas prendas tienen un costo que oscila entre los 165 y 175 euros, equivalentes a un promedio de S/. 650.00 por prenda sin contar con una fuente de alimentación autosustentable como el panel solar ni una cuna calefactable para neonatos.

Para efectos de la comparación se calcula el costo independiente de la cuna calefactable propuesta sin considerar la estación solar, obteniendo lo siguiente descrito en la Tabla 23

Table 23 Costo de cuna calefactable propuesta
Fuente: Elaboración propia

Ctdad.	Cuna Calefactable	recio Unit.	Precio Total
1	Power Bank 1000 mA	15.00	15.00
1	Batería de gel 12 V 7 Ah	60.00	60.00
1	Prototipo de cuna (incluye mano de obra)	60.00	60.00

0.5	Metro de tela polar	10.00	5.00
1	Hilo de coser	1.50	1.50
1	Cinta de teflón	2.50	2.50
1	Cinta aislante	2.50	2.50
1.5	Metros de Resistencia de Nicrom	1.60	2.40
1	Conectores USB	1.00	1.00
2.5	Metros de cable multifiliar	1.00	2.50
1	Tarjeta de control de cuna	49.30	49.30
		Costo Total en Soles:	**201.70**

Por lo tanto al comparar los costos en la tabla 24, entre la prenda calefactable propuesta y la similar encontrada en el mercado actual se calcula que lo propuesto representa solo el 31.03% del costo que implica el producto similar.

Table 24 Comparación de costos con producto similar
Fuente: Elaboración propia

Costo cuna calefactable propuesta	S/.201.70
Costo casaca calefactable Kernok	S/.650.00
Porcentaje %	31.03%

Esta diferencia hace muestra de que el sistema propuesto en general cumple con los requerimientos de costo mínimo para su implementación en zonas alto andina que sufren de bajas temperaturas con población de bajos recursos.

De esta manera se concluye el último capítulo del presente libro de tesis habiendo explicado el sistema propuesto implementado desde cómo surgió la problemática, el conocimiento teórico requerido para la realización del proyecto, el detalle de lo implementado tanto en hardware como en software y los resultados finales obtenidos, así como las pruebas y validación del funcionamiento correcto del sistema prototipo propuesto. Para finalizar este contenido en adelante se mostrarán las conclusiones y recomendaciones finales para trabajos futuros y la bibliografía empleada.

6 [REFERENCIAS]

Atersa. (27 de Marzo de 2014). *Baterías de gel sin mantenimiento*. Obtenido de Atresa grupo Elecnor: http://www.atersa.com/datosproductos.asp?param=39

Bateriastotal. (27 de Marzo de 2014). *Diferencias entre baterías de gel y baterías AGM*. Obtenido de Bateriastotal.com: http://bateriastotal.com/bat/es/content/9-diferentes-tipos-de-baterias

BattCompany. (27 de Marzo de 2014). *Diferencias entre baterías AGM y de gel*. Obtenido de BattCompany: http://www.battcompany.com/es/blog/sobre-baterias/58-diferencias-entre-baterias-agm-y-gel.html

Coello, J. (2011). *Sistema electrónico para medir y evaluar la distribución de temperaturas en incubadoras neonatales.* Lima: PUCP.

Corporation, N. S. (1995). *Datasheet LM35.* Santa Clara: NSC.

DeltaVolt. (22 de Marzo de 2014). *Radiación Solar en el departamento de Arequipa*. Obtenido de DeltaVolt: http://deltavolt.pe/

Enertron. (25 de Octubre de 2004). *Brief Introduction to heat transfer.* USA: Enertron. Obtenido de Enertron: https://www.enertron-inc.com/pdf/thermal_design_guildines/Brief-Introduction-to-Heat-Transfer.pdf

Gonzalez, A. (27 de Marzo de 2014). *Batería de gel: qué es y cómo funciona*. Obtenido de Blog de Alberto Gonzalez: http://albertogonzalez.over-blog.es/article-bateria-gel--que-como-funciona-85905125.html

Herrera, R. (2011). *Diseño de una cama calefactora para zonas frías.* Lima: PUCP.

Industrial, T. E. (2008). *Datasheet NTC Thermistor.* USA: TKS.

Industries, S. C. (2002). *Datasheet MC34060A.* Canada: ON Semiconductor.

Lopez, L. (2008). *Diseño de un sistema de controlde temperatura on/off para aplicaciones en invernadero utilizando energía solar y gas natural.* Lima: PUCP.

Minas, M. d. (18 de Marzo de 2014). *Radiación Solar en el Perú*. Obtenido de MINEM: http://dger.minem.gob.pe/

Obregón, J. (2007). *Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de temperatura para evaluación funcional de incubadoras.* Lima: PUCP.

Pizarro, A. (2011). *Implementación de un sistema de evaluación térmica del comportamiento de incubadoras neonatales.* Lima: PUCP.

Prado, C. (2008). *Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada.* Costa Rica: Univerdad de Costa Rica.

QSource. (5 de Marzo de 2011). *Burbuja protectora de polietileno*. Obtenido de QSource: http://www.qsource.com.mx/burbuja-protectora-de-polietileno/

Solar, E. (2014). *Datasheet ET Module M536100.* Lima.

Taringa. (20 de Abril de 2014). *CCS C Compiler v4.1*. Obtenido de Taringa: http://www.taringa.net/posts/downloads/13236316/PIC-C-Compiler-4-1-Full-CCS.html

UDEC. (20 de Marzo de 2007). *Mecanismos de transferencia de calor.* Chile: UDEC. Obtenido de UDEC: http://old.dgeo.udec.cl/~juaninzunza/docencia/fisica/cap14.pdf

Wikipedia. (20 de Abril de 2014). *Proporcional integral derivativo*. Obtenido de Wikipedia: http://es.wikipedia.org/wiki/Proporcional_integral_derivativo

Zuñiga, P. (2012). *Control de temperatura corporal de un recién nacido para el prototipo de equipo de soporte de vida neonatal.* Lima: PUCP.