

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE ENCENDIDO
AUTOMÁTICO DE TEA**

DIANA MARCELA ROJAS GÓMEZ
ANA MARÍA VELÁSQUEZ POBRE

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA
2013

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE ENCENDIDO
AUTOMÁTICO DE TEA**

DIANA MARCELA ROJAS GÓMEZ
ANA MARÍA VELÁSQUEZ POBRE

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Electrónico

Director
Germán Martínez Barreto
Ingeniero Electrónico

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA
2013

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Neiva, 14 de Noviembre de 2013

DEDICATORIA

A la memoria de mi madre María Consuelo Gómez de Rojas, que desde el cielo debe estar orgullosa de verme culminar mis estudios y convertirme en profesional, gracias por tu amor, apoyo y comprensión, por infundirme valores que han hecho de mí una persona correcta y de bien; sé que sigues estando a mi lado, cuidándome y acompañándome, te seguiré amando y recordando con todo mi corazón.

A mi padre Mario Rojas y a mi hermano Leonardo Rojas, por creer en mí, por darme su amor, su paciencia y apoyo en todos los momentos de mi vida, por que juntos hemos superado momentos difíciles y tengo la certeza de que siempre contaré con ustedes, gracias por estar a mi lado.

A Dios por mostrarme el camino para alcanzar esta meta y por darme la fuerza para superar los obstáculos que se me han presentado en la vida.

A todas aquellas personas, amigos y familiares que me acompañaron en este proceso, algunas siguen presentes y otras se han ido, pero sin importar dónde estén quiero darles las gracias por su cariño, animo, apoyo, paciencia y compañía en los momentos más difíciles de mi vida, por ser parte de mí y de lo que soy, siempre estarán en mi corazón.

Diana R.

A Dios por su amor infinito. A mi madre Amanda Pobre Camacho, por su profundo amor y el apoyo incondicional que me ha brindado. A mi padre Álvaro Velásquez Soto, quien a pesar de las circunstancias siempre será una de las personas más importantes en mi vida. Al semillero de energías alternativas (SEA-USCO) por regalarme los momentos más gratificantes y significativos de toda mi carrera. A los docentes y demás miembros del programa de ingeniería electrónica por su amabilidad y valiosas enseñanzas, en especial al ingeniero y amigo Edilberto Polanía. A mi hermano Álvaro Javier por su oportuna llegada. A Eloísa Velásquez (Q.E.P.D), por formar gran parte de la mujer que hoy es ingeniera electrónica.

Ana María

AGRADECIMIENTOS

ICM Ingeniería, construcciones y mantenimiento S.A.S por su apoyo técnico, logístico y suministro de información, que permitieron la elaboración de esta tesis.

Juan Felipe Rueda Orrego, Ingeniero de sistemas, supervisor de campo de la empresa ICM S.A.S, por su acompañamiento, dedicación y apoyo, sin los cuales no hubiera sido posible la realización de este proyecto.

Semillero de Energías Alternativas de la Universidad Surcolombiana (SEA-USCO), por su asesoría y apoyo logístico que contribuyeron significativamente al desarrollo de este trabajo.

Germán Martínez Barreto, Ingeniero electrónico, docente del programa de Ingeniería electrónica de la Universidad Surcolombiana, por su interés y colaboración como director de tesis.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	20
1. ANTECEDENTES	21
2. JUSTIFICACIÓN	22
3. OBJETIVOS	23
3.1 OBJETIVO GENERAL	23
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
4. MARCO REFERENCIAL	24
4.1. TEMPERATURA	25
4.1.1. Medición	26
4.1.1.1. Grados Celsius	26
4.1.1.2. Grados Kelvin	26
4.1.1.3. Grados Fahrenheit	26
4.1.2. Sensores de temperatura	27
4.1.2.1. Termocupla	27

4.2. COMBUSTIÓN	31
4.2.1. Tipos de combustión	31
4.2.1.1. Completa	31
4.2.1.2. Incompleta	32
4.2.2. Ignición	32
4.2.3. Temperatura de inflamación	32
4.2.4. Gas natural y GLP	32
4.2.4.1. Gas natural	32
4.2.4.2. GLP	33
4.3. ENERGÍA ELÉCTRICA	34
4.3.1. Medición del consumo de la energía eléctrica.	34
4.3.2. Energía solar fotovoltaica.	35
4.3.2.1. Aplicaciones	35
4.3.3. Ventajas	36
4.3.4. Desventajas	36
5. DISEÑO METODOLÓGICO	37

5.1. SISTEMA DE SENSADO	37
5.1.1. ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL DE TEMPERATURA DE LA TEA	37
5.2. SISTEMA ELEVACIÓN.	38
5.2.1. Circuito motor elevación	40
5.2.1.1. Etapa interlock	40
5.2.1.2. Etapa optoacoplada	41
5.2.1.3. Etapa puente H	43
5.2.2. Características del circuito obtenido	44
5.2.3. Circuito de comprobación de elevación y descenso	44
5.3. SISTEMA DE IGNICIÓN	45
5.3.1. Circuito para activar el motor de ignición	48
5.3.2. Circuito activación electroválvula	49
5.4. FUENTE DE ALIMENTACIÓN	49
5.4.1. FUENTE DE ALIMENTACIÓN 5V	49
5.4.2. FUENTE DE ALIMENTACIÓN 7V	50
5.5. CAJA DE CONTROL	51

5.6. DIAGRAMA DE FLUJO	54
5.7. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	59
5.8. SOFTWARE	59
5.9. SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO	60
5.9.1. Alimentación de la sección microcontrolada y circuitos de baja potencia	60
5.9.2. Alimentación de cargas inductivas	64
6. RESULTADOS	66
6.1. RESULTADOS DE HARDWARE	66
6.2. RESULTADOS DE SOFTWARE	67
7. CONCLUSIONES	69
8. RECOMENDACIONES	70
BIBLIOGRAFÍA	71
FUENTES DE INFORMACIÓN ELECTRÓNICA	72
ANEXOS	75

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Señalización de salidas	53

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Facilidad de un pozo petrolífero	24
Figura 2. Escalas de temperatura Fahrenheit, Celsius y Kelvin	26
Figura 3. Sensor de temperatura LM35	27
Figura 4. Diferentes modelos de termocuplas	28
Figura 5. Esquema de una termocupla tipo k	28
Figura 6. Características de los tipos de termocuplas metálicas	28
Figura 7. Características de los tipos de termocuplas de metales preciosos	29
Figura 8. Codificación de Colores Internacional para el Alambre de Termocuplas	29
Figura 9. Curva de respuesta característica de termocuplas comerciales	30
Figura 10. Composición típica del gas natural colombiano	32
Figura 11. Composición típica del GLP en Colombia	33
Figura 12. Consumo eléctrico de algunos electrodomésticos	34
Figura 13. Circuito para el acondicionamiento de la señal	37
Figura 14. Sistema de elevación del dispositivo de ignición	39
Figura 15. Circuito interlock del circuito motor elevación	41
Figura 16. Etapa optoacoplada del circuito motor elevación	42
Figura 17 Etapa puente H del circuito motor elevación	43
Figura 18. Circuito comprobación de elevación	44
Figura 19. Dispositivo de ignición	45

Figura 20. Dispensador de piedra pedernal y rodillo estriado	46
Figura 21. Caja del motor de ignición	47
Figura 22 Prueba de aislamiento	47
Figura 23. Circuito motor de ignición	48
Figura 24. Circuito activación electroválvula	49
Figura 25 Circuito fuente de alimentación de 5V	50
Figura 26. Circuito fuente de alimentación de 7V	50
Figura 27. Tarjeta Arduino Mega 2560.	51
Figura 28. Módulo RTC2CLICK	52
Figura 29. Módulo SD CARD	52
Figura 30. Datos almacenados en la memoria SDcard	53
Figura 31. Esquema energía solar fotovoltaica	60
Figura 32. Sistema de encendido automático de tea instalado y operando	66
Figura 33. Fragmento del código del sistema de encendido automático de tea	68

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Expresión de la temperatura de la termocupla.	30
Ecuación 2. Expresión de la compensación de la unión fría de una termocupla.	31
Ecuación 3. Expresión para eliminar el efecto de la temperatura ambiente.	31
Ecuación 4. Expresión de potencia eléctrica para DC	35
Ecuación 5. Expresión del torque (τ)	40
Ecuación 6. Expresión en términos de masa y en distancia (cm)	40
Ecuación 7. Cálculo de la carga resistiva RL	48
Ecuación 8. Cálculo del consumo energético teórico	61
Ecuación 9. Expresión del parámetro de rendimiento	61
Ecuación 10. Cálculo del consumo energético real	62
Ecuación 11. Cálculo de la capacidad del banco de baterías	63
Ecuación 12. Cálculo de paneles de 100W requeridos	63

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. Circuito motor de elevación	75
ANEXO B. Manual de operación y mantenimiento	76

GLOSARIO

CIRCUITO COMBINACIONAL: circuito digital en donde la salida depende exclusivamente de la combinación de las entradas presentes y no de los estados anteriores de las entradas o de las salidas. Son construidos a partir de las compuertas básicas AND, OR y NOT, o de sus combinaciones NAND, NOR y XOR.

EFECTO TERMOELECTRICO: Es la conversión de la diferencia de temperatura entre dos puntos a voltaje eléctrico y viceversa. Es usado para generar electricidad, medir temperatura, y controlar la temperatura de

ELECTROVÁLVULA: válvula que controla la circulación de un fluido a través de un conducto, accionada por una corriente eléctrica que fluye a través de una bobina o inductor.

HARDWARE LIBRE: Elementos de hardware con especificaciones y diagramas esquemáticos de acceso público, aplica la misma filosofía del software libre y al igual que este pueden ser gratuitos o tener algún tipo de pago.

I2C: Es un protocolo o bus de comunicaciones en serie, cuyo nombre significa Inter-Integrated Circuit (Inter-Circuitos Integrados), aunque también se le conoce como TWI (Two wire interface) o TWSI (Two Wire Serial Interface). Fue diseñado por la compañía Philips (ahora NXP Semiconductors) en 1992 y permite el intercambio de información a 100 kbit/s en el modo estándar. La transferencia de datos se realiza entre 2 dispositivos a la vez y en una relación maestro (generalmente un Microcontrolador) - esclavo (como memorias, sensores, etc.). La transferencia de datos se lleva a cabo a través de 2 líneas bidireccionales: SDA (línea serial de datos) que se encarga de conducir la información entre el dispositivo maestro y los esclavos y SCL (línea serial de reloj) que sincroniza esta transferencia.

LENGUAJE C++: Lenguaje de programación orientado a la manipulación de objetos; es una extensión del lenguaje C al cual se le han añadido nuevas características para facilitar la programación como tipos de datos, plantillas, referencias, utilidades adicionales de librería entre otros.

PANEL SOLAR: Dispositivo formado por celdas semiconductoras que captan la luz proveniente del sol y la transforman en energía eléctrica continua. La potencia del panel depende del número de celdas que lo conforman.

PIEDRA PEDERNAL: Piedra conformada por sílice amorfo (SiO_4) o criptocristalino, y tiene una dureza de 7.0 en la escala Mohs (1-10); es usada para la elaboración de herramientas cortantes y para encender fuego por su capacidad de generar chispas al chocarse con otra pieza igual o más dura, como el acero.

SD CARD: Es un dispositivo con forma de tarjeta empleado para el almacenamiento de datos que utiliza el formato SD inventado por Panasonic. Existen dos tipos de alta y normal velocidad y se utilizan en dispositivos portátiles como celulares, cámaras fotográficas, computadores entre otros.

SISTEMA FOTOVOLTAICO: Conjunto de elementos que transforman la radiación solar en electricidad; de los paneles solares la corriente directa es conducida a un controlador de carga que envía esta energía a un banco de baterías para ser almacenada y posteriormente abastecer las cargas durante la noche o en días de baja radiación solar. El sistema también puede incluir un inversor de corriente continua a alterna para el uso doméstico en general.

SOFTWARE LIBRE: Software en que los usuarios que lo adquirieron, dando el respectivo reconocimiento al trabajo de otros programadores, tienen la libertad de ejecutar, estudiar, copiar, mejorar, cambiar y distribuir el producto, por lo cual su uso se considera una excelente alternativa en ambientes educativos. Aunque suele estar disponible gratuitamente, no implica que siempre sea así; en muchos casos se cobra el desarrollo y distribución de un software libre.

SPI: Es un protocolo o bus de comunicaciones síncrono cuyo nombre significa Serial Peripheral Interface. La transmisión de los datos entre maestro y esclavos y su respectiva sincronización se realiza por medio de 4 señales: SCLK o reloj (Clock), MOSI (Master Output Slave Input) Salida de datos del Maestro y entrada de datos al esclavo, MISO (Master Input Slave Output) Salida de datos del esclavo y entrada al Maestro y SS/Select, para seleccionar un esclavo, o para que el maestro active un esclavo.

TEA DE ALTA: Tea cuyo quemador se encuentra varios metros elevado con respecto al nivel del suelo, con el fin de disminuir la radiación calorífica.

TEA DE BAJA: Tea cuyo quemador se encuentra a pocos metros del suelo, o a nivel del suelo.

TORQUE: Fuerza que generan los cuerpos en rotación. En un motor, torque es la fuerza que se produce en su eje cuando está girando, a mayor torque mayor es la fuerza que tiene el motor para mover o levantar objetos.

TREN DE ARRASTRE: sistema que en las motocicletas se compone del piñón de salida o delantero, piñón trasero y la cadena, que se encarga de la transmisión del movimiento desde el motor hasta las ruedas.

UNIX: Es un sistema operativo que permite ejecutar simultáneamente varios programas (multitarea) a cargo de uno o varios usuarios (multiusuario); es altamente portable, por lo cual se puede emplear ampliamente en distintas plataformas de hardware. Fue desarrollado en 1969, por un grupo de empleados de los laboratorios Bell de AT&T, entre los que se encuentran Ken Thompson, Dennis Ritchie y Douglas McIlroy.

RESUMEN

Este proyecto consiste en el diseño de un sistema, que permite el encendido automático de una tea petrolera y el registro de la fecha y hora para monitorear los instantes en que esta se apaga. El diseño está compuesto por 5 sistemas: sensado de temperatura de la tea, elevación del dispositivo de ignición, ignición mecánica, alimentación solar fotovoltaica y por último la caja de control.

Este sistema es asequible para las empresas prestadoras de servicio y cuenta con su respectivo manual de operación y mantenimiento. Su implementación en un campo petrolífero, donde aún se emplean métodos rudimentarios y potencialmente peligrosos en el proceso de encendido, mejoraría la seguridad de los operarios y de las instalaciones.

Palabras claves: Almacenamiento SD Card, Arduino, automatización, ignición, tea, termocupla.

ABSTRACT

This project involves the design of a system that allows the automatic ignition of oil tea and records the date and time when it goes off. The design consists of 5 systems: temperature sensing tea, elevation of igniter, mechanical ignition, photovoltaic solar power and finally the control box.

This system is affordable for services provider companies with its respective operation and maintenance manual. Its implementation in an oil field, where rudimentary and potentially dangerous methods are still used in the ignition process would improve operator safety and facilities.

Keywords: SD Card storage, Arduino, automation, ignition, tea, thermocouple.

INTRODUCCIÓN

La automatización es la herramienta que mejora los procesos productivos haciéndolos más seguros, rápidos y eficientes, sustituyendo o limitando la presencia de operarios.

La idea del diseño y la implementación de un sistema que automatice el encendido de tea surgen de la necesidad de ICM. S.A.S, empresa que se dedica a la ingeniería, construcción y mantenimiento del sector hidrocarburos, por encontrar una alternativa segura y económica para el encendido de teas; por lo que se propone el diseño y construcción de un modelo funcional; que sea eficiente, de fácil mantenimiento y operación, que mejore la seguridad en los campos petrolíferos y que sea asequible para las empresas prestadoras de servicios.

El dispositivo cuenta con un sistema que sensa la temperatura constantemente, un sistema de elevación, sistema de ignición y un sistema de registro de datos para monitorear el comportamiento de la tea, donde la intervención humana se limita solo a cuestiones de mantenimiento, además dispone de su respectivo manual de operación y mantenimiento.

Este proyecto se desarrolló con la plataforma de hardware libre Arduino, que permite la fácil aplicación de la electrónica a proyectos multidisciplinarios gracias a su sencillo manejo. Su implementación en un campo petrolífero dependerá de la empresa ICM.S.A.S.; sin embargo, es un dispositivo que se puede adaptar en otras industrias y que constituye un modelo de referencia para futuros proyectos con esta plataforma.

1. ANTECEDENTES

Los sistemas de tea desempeñan un papel importante en la seguridad de las instalaciones industriales y protección del medio ambiente en las industrias petrolera, petroquímica, farmacéutica, acerera, energética y del gas, entre otras.

En la industria petrolera, los sistemas de tea tienen como objetivo permitir deshacerse de los gases y residuos de líquidos producidos, mediante su incineración; la cantidad de estos fluidos en muchos casos es insuficiente para la generación de energía, sin embargo, si se les permite fluir libremente constituyen un riesgo tanto para el medio ambiente, debido a que el gas natural está compuesto principalmente por metano, mucho más contaminante que el dióxido de carbono, como para la seguridad de la instalación, puesto que pueden ser causantes de una flama. Estos fluidos también se envían a las teas en caso de que se necesite hacer mantenimiento, reparación o limpieza de tanques y líneas, y en caso de emergencia, en donde son quemados para evitar un accidente; por esta razón las teas deben estar encendidas de forma continua.

En Colombia esta industria está regida por empresas principales como es el caso de Ecopetrol, que al ser las dueñas de los pozos y tener los recursos económicos suficientes, implementan mejoras de automatización al proceso y lo hacen más seguro para sus operarios. Sin embargo, no sucede lo mismo con las empresas prestadoras de servicios, las cuales al no ser propietarias de los pozos y al tener recursos económicos limitados, prefieren no invertir en dispositivos automatizados que les resultan costosos y que alcanzan sumas de hasta 50'000.000 de pesos; debido a esto en muchas ocasiones ponen en riesgo la seguridad de sus operarios y sus instalaciones, por lo que en el caso de los sistemas de tea recurren al encendido manual con el uso de métodos potencialmente peligrosos como bengalas o artefactos artesanales .

2. JUSTIFICACIÓN

El diseño e implementación de un **Sistema De Encendido Automático De Tea**, se realizó para satisfacer la necesidad de la empresa ICM S.A.S. de buscar una alternativa para mejorar la seguridad de las instalaciones petrolíferas y de sus operarios en el proceso de encender una tea, pretendiendo reducir el riesgo de accidentes que pueden ocasionarse debido al uso de técnicas rudimentarias y potencialmente peligrosas. Por esta razón se decide aceptar la propuesta de realizar este proyecto.

Se propone la construcción de un modelo funcional bajo los parámetros de un sistema automático, eficiente, rápido, económico y seguro, cuya ignición se lleve a cabo por un medio distinto al encendido eléctrico con bujía y que el sistema completo pudiera ser implementado sin acceso a la energía convencional. Para cumplir con este requisito el Semillero De Energías Alternativas USCO (SEA-USCO), decide apoyar este proyecto, que usa como fuente de energía la energía solar.

En miras de que el prototipo a construir tenga una factible implementación en la industria, se opta por emplear la plataforma de hardware libre Arduino, tecnología que apenas está empezando incursionar en el país, de bajo costo y fácil manejo; y que permite agregar módulos llamados shields conectándolos al sistema con una gran diversidad de aplicaciones.

Creemos que al desarrollar e implementar un **Sistema De Encendido Automático De Tea**, estamos dando un paso hacia el mejoramiento de la seguridad industrial y la tecnificación en instalaciones petrolíferas; además, la visualización permitirá el conocimiento continuo del estado de la tea y el registro del instante en que se apague, posibilitará el monitoreo de la misma, empleando para ello los conocimientos adquiridos durante nuestra formación como ingenieros electrónicos.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un sistema de encendido automático de tea (antorcha) que sea seguro, eficiente, económicamente asequible, de fácil operación y mantenimiento para los operarios, que visualice la temperatura en todo momento y además registre para propósitos de monitoreo el instante en que se apague la tea.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

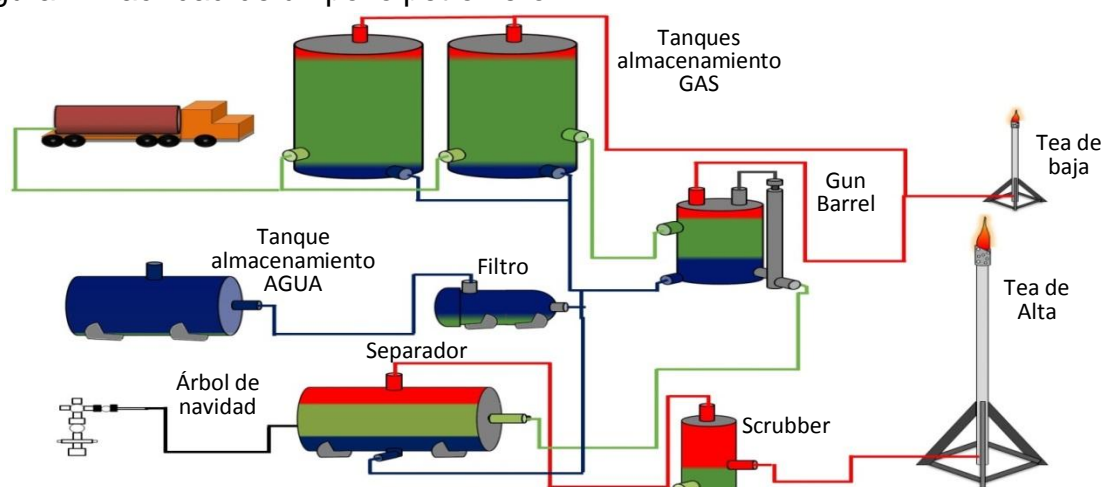
- Diseñar e implementar un sistema eficiente de encendido automático de tea que permita el funcionamiento continuo de ésta. Para dar cumplimiento a este objetivo se considera como opción la utilización de la tecnología Arduino.
- Proporcionar seguridad a los operarios durante el proceso de encendido de la tea.
- Desarrollar e implementar un sistema de visualización permita a los operarios conocer la temperatura de la tea en todo momento.
- Registrar en un medio electrónico los instantes en que se apague la tea para su monitoreo.
- Construir un sistema de encendido automático de tea asequible para las empresas prestadoras de servicio.
- Realizar la construcción de un módulo de prueba del dispositivo que simule una tea real.
- Elaborar un manual de operación y de mantenimiento del sistema construido.

4. MARCO REFERENCIAL

Una tea o antorcha es un sistema que se usa para quemar de manera segura hidrocarburos en instalaciones industriales, como es el caso de la industria petrolera, en donde deben permanecer encendidas de forma continua para eliminar residuos de gas y líquidos provenientes de la extracción de petróleo.

Es una pieza importante en “*Las Facilidades de Producción, que comprenden los procesos, equipos y materiales requeridos en superficie para la recolección, separación y tratamiento de fluidos, así como la caracterización y medición de cada una de las corrientes provenientes de los pozos productores, bien sea crudo, gas o agua e impurezas*”.¹

Figura 1. Facilidad de un pozo petrolífero



Esquema general de la facilidad de producción de un pozo petrolífero

A continuación se describe el proceso que conduce el gas hasta las teas para ser incinerado.

Generalmente en la cabeza del pozo se instala un árbol de navidad, equipo que consiste en un conjunto de válvulas, carretes y accesorios utilizados para regular el paso del crudo. Si en esta etapa las cantidades de gas son altas se requiere de una tea de baja para su eliminación.

1 INDUPETROL. LTDA (Colombia). [online]. Página 1.
URL:[<http://www.indupetrol.com/bodega/cursos/99d3e916ae4c9cc0052320afdc071442.pdf>].

La mezcla de crudo compuesta por aceite, gas y agua, llega a un separador que es un recipiente donde se realiza la primera separación de los fluidos aplicándoles distintos niveles de presión y temperatura de acuerdo a las condiciones del pozo. El gas, por ser el más liviano, se ubica en la parte superior del recipiente, el agua, que es más pesada, se posa en el fondo, quedando el aceite en el medio; del cual salen diferentes líneas para el tratamiento de cada fluido.

El gas se lleva a través de una de línea hasta el Scrubber, que es un tipo de separador necesario en el proceso de eliminación del gas, debido a que este fluido al salir del separador arrastra partículas de humedad denominadas nafta, que se condensan al aplicar una presión, permitiendo que solo el gas fluya hacia la tea para ser incinerado y el líquido es evacuado desde el fondo. Si no se llevara a cabo este proceso, al incinerar el gas con nafta se producirán gotas de llama que podrían causar incendios.

Del separador sale otra línea al Gun Barrel, que es básicamente un tanque sedimentador; tiene una cámara superior desgasificadora o bota en el tope y se encarga de la decantación para la separación de emulsiones de agua en petróleo.

Después de todo el proceso de separación, el crudo pasa a los tanques de almacenamiento, conservando aún pequeñas cantidades de agua y gas, por lo que se deja reposar 24 horas como mínimo, para que el agua se asiente y el gas se eleve; cuando se considera que las cantidades de gas son relativamente altas, este se libera de los tanques por medio de un tubo Venturi con línea hacia una tea de baja, donde es incinerado.

Para el diseño e implementación de un sistema de encendido automático de tea y garantizar su funcionamiento, se deben tener en cuenta conceptos como temperatura, combustión del gas y las condiciones de energía del sitio donde se pudiera implementar.

4.1. TEMPERATURA

La temperatura es una de las variables indispensables en el sistema; es una magnitud que permite establecer que tan frío o caliente se encuentra un elemento. Está relacionada con el movimiento de las partículas que componen la materia, un aumento en la temperatura indica un incremento en el movimiento de las partículas, de igual forma una disminución de la temperatura indica un decremento en el movimiento de las partículas.

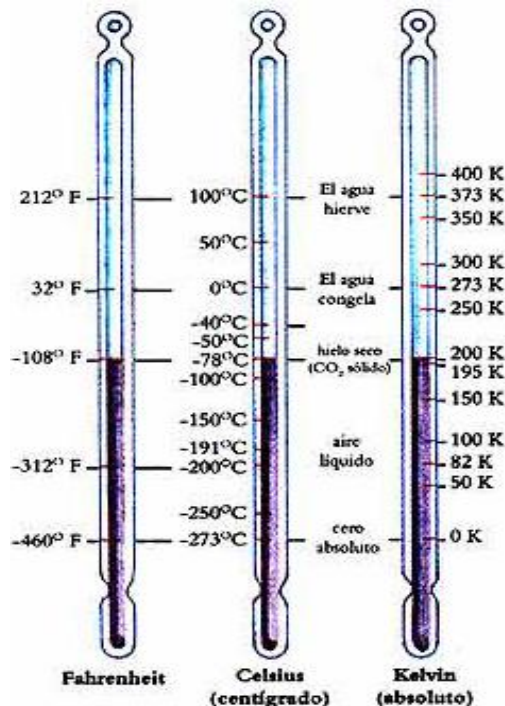
4.1.1. Medición. La temperatura se mide con termómetros que manejan diferentes escalas.

4.1.1.1. Grados Celsius. Es la escala de temperatura comúnmente usada en la mayoría de países y unidad accesoria del sistema internacional de unidades. Establece el valor de cero (0°C) para el punto de congelación del agua y el valor de cien (100°C) para el punto de ebullición.

4.1.1.2. Grados Kelvin. Es la unidad básica de medición de temperatura en el sistema internacional de unidades. Su dimensión es igual a la de la escala Celsius con la diferencia de que en ésta el cero Kelvin (0K) corresponde a la mínima energía térmica que puede tener un sistema ($-273,15^{\circ}\text{C}$), por lo que a 0K se le denomina cero absoluto.

4.1.1.3. Grados Fahrenheit. Es una escala de temperatura de dimensión distinta a la Celsius y a la Kelvin, en donde las temperaturas de congelación y de ebullición corresponden a 32°F y 212°F . Se usaba en gran parte de los países anglosajones pero, su utilización ha sido desplazada en miras de adoptar el sistema internacional de unidades.

Figura 2. Escalas de temperatura Fahrenheit, Celsius y Kelvin

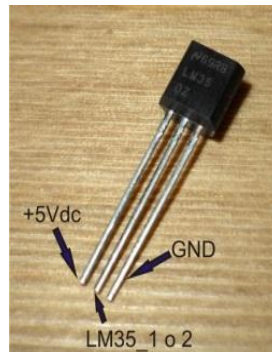


<http://archivo.abc.com.py/2003-06-20/articulos/52111/la-temperatura>

4.1.2. Sensores de temperatura. Es un dispositivo capaz de detectar cambios en la temperatura y transformarlos en señales eléctricas que se envían a otro dispositivo eléctrico o electrónico para ser interpretadas.

Generalmente está compuesto por el elemento sensor, el material conductor que permite transmitir rápidamente los cambios de temperatura y el cable que lo conecta al dispositivo electrónico.

Figura 3. Sensor de temperatura LM35



http://www.delectro.dyndns.org/Deselec_Controladores.htm

Hay tres tipos de sensores de temperatura, los termistores basados en la variación de la resistencia de un semiconductor en función de la temperatura, los RTD que basan su funcionamiento en la variación de la resistencia de un conductor con los cambios de temperatura y los termopares cuyo principio de funcionamiento es el efecto termoeléctrico.

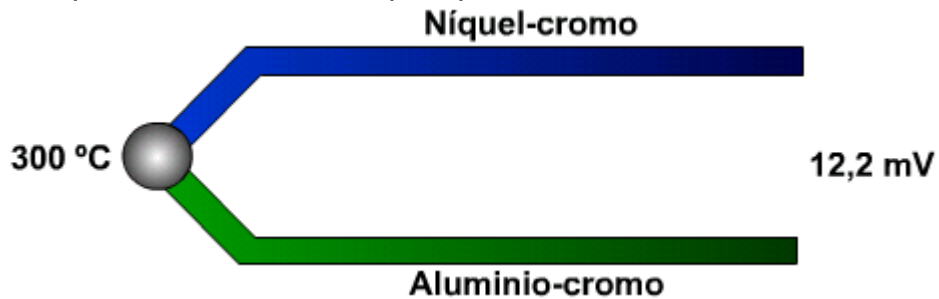
4.1.2.1. Termocupla. También llamado termopar, es el sensor más común en aplicaciones industriales para medir altas temperaturas debido a que es más lineal y tiene mayor rango de operatividad que cualquier otro termistor. Es un transductor formado por alambres metálicos distintos unidos en uno de sus extremos, que produce un voltaje en el orden de los milivoltios proporcional al aumento de la temperatura.

Figura 4. Diferentes modelos de termocuplas



<http://spanish.alibaba.com/product-gs/thermocouple-rtd-temperature-sensor-425081281.html>

Figura 5. Esquema de una termocupla tipo k



<http://www.uhv.es/sites/pecas/es/instrumentos.htm>

- Tipos de termocupla.

Figura 6. Características de los tipos de termocuplas metálicas

Termocuplas metálicas				
Tipo ANSI-ISA	Combinación de metales	Sensibilidad	Composición química	Rangos de temperatura
J	Hierro/constantan	5,6 mV/ 100 ° C	Fe 44 Ni:55 Cu	-40 a + 750
K	Cromel/ Alemel	3,6 mV/ 100 ° C	90 Ni:9 Cr 94 Ni:Al:Mn:Fe	-40 a +1200
T	Cobre/constantan	4,5 mV/ 100 ° C	Cu 44 Ni:55 Cu	-50 a + 400
E	Cromel/constantan	7,9 mV/ 100 ° C	90 Ni:9 Cr 44 Ni:55 Cu	-40 a +900

<http://www.ing.unlp.edu.ar/cys/DI/termocuplas.pdf>

Figura 7. Características de los tipos de termocuplas de metales preciosos

Termocuplas de metales preciosos				
Tipo ANSI-ISA	Combinación de metales	Sensibilidad	Composición química	Rangos de temperatura
R	Platino-rodio/ platino	Ver gráfico	87Pt:13Rh Pt	Disponible hasta 1480°C
S	Platino-rodio/ platino	Ver gráfico	90Pt:10Rh Pt	Disponible hasta 1400°C
B	Platino-rodio/ Platino-rodio	Ver gráfico	70Pt:30Rh 94Pt:6Rh	Disponible hasta 1700°C

<http://www.ing.unlp.edu.ar/cys/DI/termocuplas.pdf>

Figura 8. Codificación de Colores Internacional para el Alambre de Termocuplas

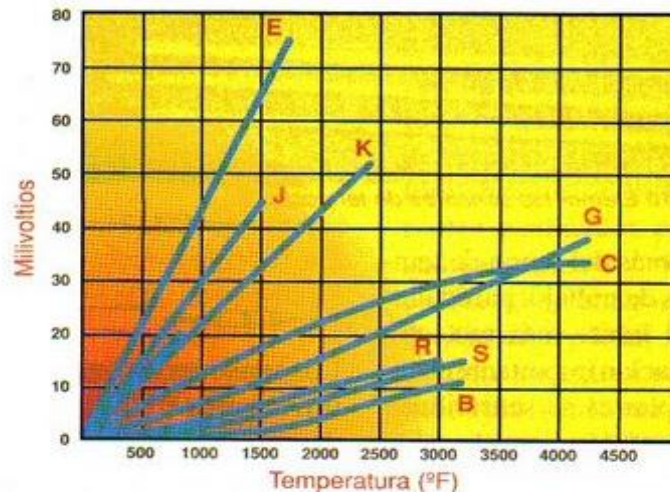
TIPO	CONDUCTORES	ISA/ANSI Americana	BS Britanica	DIN Alemana	NF Francesa
JX	⊕ Ferro				
	⊖ Constantan				
KX	⊕ Cromel				
	⊖ Alumel				
WX*	⊕ Ferro				
	⊖ Cupronquel				
SX	⊕ Cobre				
	⊖ Cupronquel				
TX	⊕ Cobre				
	⊖ Constantan				
EX	⊕ Cromel				
	⊖ Constantan				
BX**	⊕ Cobre				
	⊖ Cobre				

<http://www.tecnicab.cl/cables03.htm>

- Características
 - Su salida es estándar, determinada solo por las aleaciones de los metales que la conforman.
 - La señal de salida es pequeña del orden de (10-50) microvoltios por grado Celsius y requiere ser amplificada.
 - A la señal producida se le debe compensar con una temperatura de referencia, la cual debe conocer o medir de forma independiente.

- La señal de voltaje no es lineal, necesita ser linealizada para su manejo
- Su principal limitación es la exactitud ya que los errores del sistema inferiores a un grado Celsius son difíciles de obtener.
- Linealización.

Figura 9. Curva de respuesta característica de termocuplas comerciales



<http://snsosresdetemperatura.blogspot.com/2009/05/sensores-de-temperatura.html>

El voltaje de salida de la termocupla con respecto a la temperatura no es lineal, por lo cual se debe linealizar la lectura; para ello existen dos métodos:

- Medir el voltaje de salida y buscar en la tabla de la termocupla a que temperatura corresponde ese voltaje. Cada tipo de termocupla tiene una tabla específica.
- Calcular la temperatura a partir del voltaje de salida de la termocupla aplicando la siguiente expresión.

Ecuación 1. Expresión de la temperatura de la termocupla.

$$T = a_0 + a_1E + a_3E^3 + \dots + a_nE^n$$

E = voltaje termoeléctrico (microvoltios)

a_n = Coeficientes del polinomio (diferentes para cada tipo de termopar)

T = temperatura (°C)

n = orden del polinomio

<http://www.unirioja.es/cu/lzorzano/jk.htm>

- Compensación de la unión fría. Es un método para contrarrestar el efecto de la temperatura ambiente, en la medida de la temperatura del circuito de una termocupla, con el propósito de obtener una medida absoluta. La tensión entre los extremos del termopar se puede aproximar según la siguiente expresión:

Ecuación 2. Expresión de la compensación de la unión fría de una termocupla.

$$V_{termopar} = \alpha (T_a - T_0) = \alpha T_a - \alpha T_0$$

α Es un parámetro dependiente de los tipos de metales usados.

T_a Es temperatura a medir.

T_0 Es temperatura ambiente.

http://es.wikipedia.org/wiki/Compensaci%C3%B3n_de_uni%C3%B3n_fr%C3%ADa

Para eliminar el efecto que produce la temperatura ambiente hay que sumar αT_0 a la expresión. El circuito compensador generalmente hace uso de un termistor y entre el voltaje de salida y la temperatura ambiente hay una relación lineal dada por:

Ecuación 3. Expresión para eliminar el efecto de la temperatura ambiente.

$$V_{termistor} = \beta T_0$$

β representa la sensibilidad (mv/°C) y es un parámetro dado por el fabricante.

http://es.wikipedia.org/wiki/Compensaci%C3%B3n_de_uni%C3%B3n_fr%C3%ADa

4.2. COMBUSTIÓN

Toda combustión está compuesta por un elemento combustible que arde y otro comburente que produce la combustión, generalmente oxígeno gaseoso. La combustión es una reacción química que se genera rápidamente debido a la combinación de oxígeno con otra sustancia, produciendo energía lumínica y calórica en forma de fuego.

4.2.1. Tipos de combustión.

4.2.1.1. Completa. En donde todos los elementos que componen el combustible se oxidan completamente, generando dióxido de carbono (CO₂), también pueden

producir óxidos de nitrógeno (NO_x), dependiendo de la temperatura, la cantidad de oxígeno y la presión en la combustión.

4.2.1.2. Incompleta. En donde los elementos que se queman no reaccionan completamente, debido a que la mezcla de combustible y comburente no tiene las proporciones adecuadas, produciendo monóxido de carbono (CO) y en ocasiones carbón.

4.2.2. Ignición. Es la mínima temperatura necesaria para dar inicio a la combustión de un combustible, puede ser generada por una partícula encendida o chispa, o por una llama externa.

4.2.3. Temperatura de inflamación. A la cual los elementos del combustible una vez encendidos, continúan por sí mismos el proceso de combustión.

4.2.4. Gas natural y GLP

4.2.4.1. Gas natural. Es un combustible gaseoso de origen fósil, generado por la descomposición de material orgánico hace centenares de millones de años. Está conformado principalmente por metano y otros hidrocarburos, en porcentajes que varían dependiendo de los yacimientos donde se extraiga en cada país. Se puede encontrar 'asociado' o acompañado de petróleo o 'no asociado' al mismo.

Figura 10. Composición típica del gas natural colombiano

Constituyente	Fórmula química	Composición por volúmen (%)
Metano	CH ₄	81.86
Etano	C ₂ H ₆	11.61
Propano	C ₃ H ₈	1.92
I-Butano	C ₄ H ₁₀	0.23
N-Butano	C ₄ H ₁₀	0.22
Nitrógeno	N ₂	0.90
Dióxido de carbono	CO ₂	3.18

<http://portal.gasnatural.com/servlet/ContentServer?gnpage=1-40-2¢ralassetname=1-40-4-2-1-0-0>

En los sectores industrial y petroquímico se emplea como combustible, por ejemplo para alimentación de hornos, calderas y secadores en la industria metalúrgica, de cemento y cerámica; y como materia prima en donde se requiera metano para obtener subproductos como urea, alcoholes, etileno, acetileno,

polietileno, aldehídos, nitrato de amonio, entre otros. En la industria termoeléctrica se utiliza para la transformación de energía calorífica en energía eléctrica. En el uso doméstico es empleado en las instalaciones de gas domiciliario, calefacción de agua y ambiente, secadoras de ropa, entre otros. En el sector del transporte como gas natural comprimido para vehículos GNCV, sector que ha venido creciendo y consolidándose en nuestro país como una importante fuente no renovable de energía.

4.2.4.2. GLP. Es una mezcla principalmente formada por propano (C3) y butano (C4), que en condiciones normales de temperatura y presión es gaseosa, pero al comprimirla pasa a estado líquido para su almacenamiento y transporte ocupando 250 veces menos su volumen.

Figura 11. Composición típica del GLP en Colombia

COMPOSICIÓN TÍPICA EN COLOMBIA	
Nitrógeno, Metano	0,02%
Etano, Etileno	0,20%
Propano, Propileno	25,31%
Butanos, Butilenos	74,07%
C5 y más pesados	0,40%
Total	100,00%

<http://www.andesco.org.co/site/assets/media/CONGRESO/Memorias2011/T%20GLP%203%20%20Peter%20Schmol%20-%20Grupo%20Gasco.pdf>

El GLP se produce en plantas de procesamiento de gas natural o en refinerías.

- GLP de gas natural. Se reduce la temperatura del gas natural por debajo de los -40°C hasta que el butano, el propano y otros componentes más pesados se condensan, para ser sometidos a un proceso de purificación y destilación produciendo GLP.
- GLP en refinería. El crudo extraído de los pozos petroleros es llevado a una planta de refinación, donde se procesa para obtener diferentes derivados como gas húmedo, naftas, gasolina, queroseno, gasóleos entre otros; de los gasóleos se obtiene una mezcla de GLP, gasolina y otros productos más pesados que posteriormente se separan por destilación.

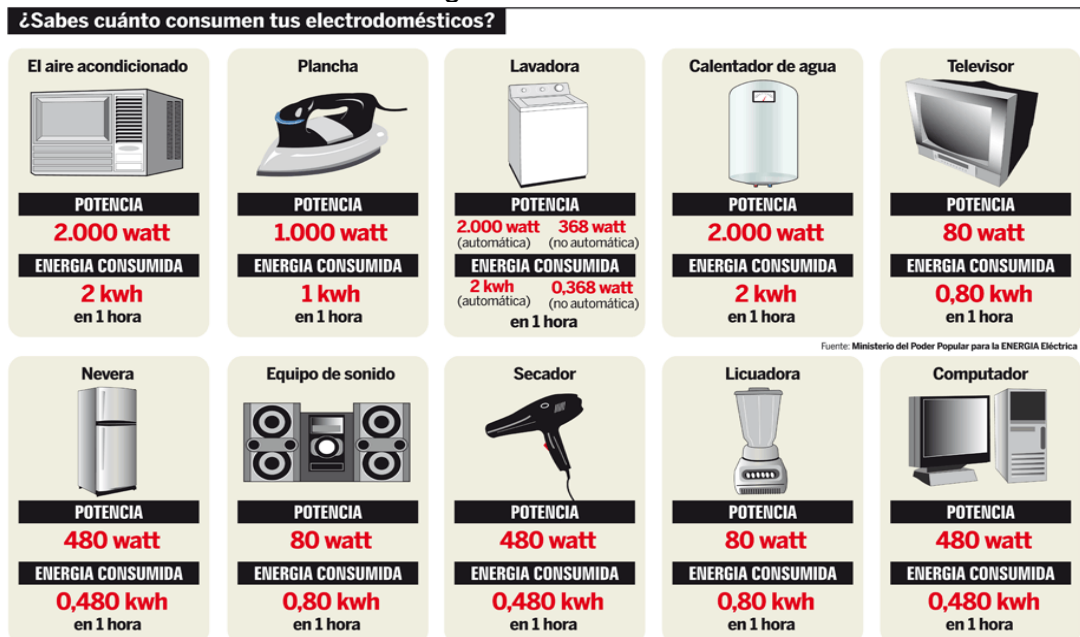
El GLP es utilizado como combustible doméstico para calefacción y cocina, en la industria en hornos secadores, en refinerías y como combustible para automotores.

4.3. ENERGÍA ELÉCTRICA

La energía eléctrica es la forma de energía más utilizada por el ser humano gracias a la facilidad con la que se genera y se transporta, además de su aplicación en productos y aparatos cotidianos. Es generada a partir de un potencial eléctrico entre dos puntos, unidos mediante un material conductor, lo cual permite la circulación a través del mismo de un flujo de electrones o electricidad. La energía eléctrica se puede transformar en energía luminosa, mecánica y térmica.

4.3.1. Medición del consumo de la energía eléctrica. Cuando la corriente circula a través de un aparato o algún otro dispositivo eléctrico para producir trabajo, se genera un consumo de energía eléctrica, que depende tanto de la potencia del elemento (medida en Vatios W) como del tiempo de funcionamiento del mismo (medido en horas h). Como resultado, las unidades del consumo energético son Wh. Sin embargo, cotidianamente se emplea como medida el kWh debido a que ésta es usada en la facturación por las empresas encargadas del suministro eléctrico.

Figura 12. Consumo eléctrico de algunos electrodomésticos



<http://www.ciudadccs.org.ve/?p=433003>

La potencia puede definirse como el producto entre el voltaje (V) y la corriente(A), como el producto entre la resistencia (Ohms Ω) y la corriente al cuadrado o como el voltaje al cuadrado dividido entre la resistencia.

Ecuación 4. Expresión de potencia eléctrica para DC

$$\begin{aligned} p &= vi = (iR)i \\ &= i^2 R \\ p &= vi = v \left(\frac{v}{R} \right) \\ p &= \frac{v^2}{R} \end{aligned}$$

<http://www.tecnoficio.com/electricidad/electrotecnia2.php>

La anterior fórmula es válida solo para corriente DC (que no varía en el tiempo). Dado que el proyecto funciona con baterías y paneles solares, no se estudiarán las fórmulas para corriente alterna AC (que varía en el tiempo).

4.3.2. Energía solar fotovoltaica. Es una fuente renovable de energía. Se obtiene al transformar la radiación solar en electricidad por medio de un dispositivo llamado celda solar, compuesto por un semiconductor, generalmente silicio, que crea un campo eléctrico constante y conectadas en serie y paralelo forman paneles solares.

4.3.2.1. Aplicaciones

- Electrificación rural y urbana.
- Sistemas de monitoreo remoto.
- Estaciones de telecomunicaciones.
- Alimentación de aparatos autónomos.
- Producción de electricidad a gran escala a través de redes de distribución.

4.3.3. Ventajas

- Son sistemas silenciosos, limpios, no producen ningún tipo de contaminante atmosférico, por lo cual su impacto ambiental es mínimo.
- El silicio, material con el que se fabrican es muy abundante, no siendo necesario sobreexplotar sus yacimientos.
- Son sistemas de fácil mantenimiento y largo período de vida útil.
- No requieren del suministro de recursos u otras fuentes de energía.

4.3.4. Desventajas

- En la mayoría de aplicaciones es necesario un sistema de acumulación que permita mantener el abastecimiento de energía cuando no haya luz solar o las condiciones climáticas no sean favorables.
- Gran impacto visual por la cantidad de paneles y el espacio que pueden requerir.
- Son sistemas de costo elevado, aunque con el tiempo de uso y su masificación a nivel nacional, el ahorro energético amortiguará el gasto.

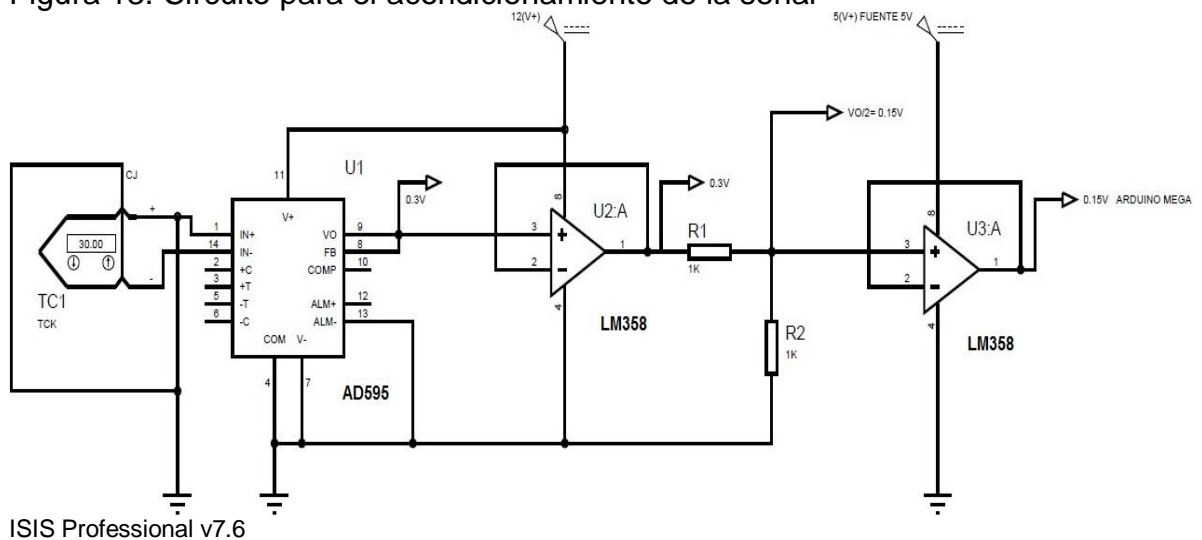
5. DISEÑO METODOLÓGICO

5.1. SISTEMA DE SENSADO

Como instrumento sensor de la temperatura de la tea se escogió una termocupla tipo k, por su rango de medición entre -40°C a 1200°C , debido a que en condiciones en un campo petrolífero puede llegar a sensor temperaturas de más de 1000°C cerca a la llama. Para el sensado de la temperatura ambiente se escogió el sensor de temperatura LM35, con un rango de medición entre -2°C a 150°C y una salida de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$.

5.1.1. ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL DE TEMPERATURA DE LA TEA

Figura 13. Circuito para el acondicionamiento de la señal



Debido a que la termocupla tiene una sensibilidad de $41\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$, para su conexión a una de las entradas análogas de la tarjeta Arduino MEGA se hace necesario un circuito que realice la amplificación, linealización y adecuación de su señal de salida.

El terminal positivo de la termocupla se conecta al pin 1(IN+) y a tierra, y el terminal negativo al pin 14 (IN-) del AD595 (amplificador para termocupla tipo k), integrado escogido porque a su salida se obtiene una señal lineal de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ y con referencia de punto de hielo, por lo cual y a diferencia de otros integrados, no se requiere contrarrestar el efecto de la temperatura ambiente en la medición.

La salida del AD595 se conecta a un LM358, amplificador operacional que presenta la ventaja de poder alimentarse tanto con una fuente sencilla como con una fuente dual, lo que significa en nuestro caso al emplear la alimentación de fuente sencilla el ahorro de una batería. Este primer amplificador se configura como seguidor de tensión, proporcionando un efecto de aislamiento de la salida respecto de la señal de entrada, anulando los efectos de carga en la siguiente etapa.

La tarjeta arduino MEGA contiene 16 canales análogos y un convertidor análogo digital de 10 bits, lo cual significa que se mapearán valores análogos entre 0 y 5 voltios en valores enteros entre 0 y 1023. Esto produce una resolución de 5Voltios/1024 Unidades o 4.9mV por unidad. Para asegurar exactitud en la lectura de la medida se debe buscar que cada incremento en una unidad corresponda a un 1°C; con una temperatura máxima de 1000°C cada incremento en una unidad corresponderá a 1024 unidades/1000°C, es decir, a 1°C aproximadamente. Para efectos de diseño, se toma este valor como la temperatura máxima a medir y 0°C como temperatura mínima inicial; en el menú del sistema es posible cambiar la temperatura, en un rango entre la temperatura ambiente medida con el sensor LM35 y 1000°C, con la cual se considera que la tea está encendida.

La salida del AD595 de 10mV/°C en la medición de 1000°C produce una salida de 10V; como la entrada máxima permitida por la tarjeta es de 5V, es necesario igualar la resolución requerida por el convertidor análogo digital de la tarjeta con la resolución de la señal de entrada; para esto la salida del seguidor está conectada a un divisor de tensión que reduce la magnitud de la señal a la mitad, con lo cual en la medición de 1000 °C se obtienen 5V.

Posteriormente la señal pasa a un segundo LM358, configurado como seguidor, cuya salida se conecta a uno de los pines análogos de la tarjeta. Este amplificador, a diferencia de los anteriores, se alimenta con una fuente sencilla de 5V en lugar de una de 12V, haciendo que se sature en 5V cuando la temperatura en la termocupla supera los 1000°C y evitando que un voltaje superior a 5V entre en la tarjeta y pueda causar daños en el puerto análogo.

5.2. SISTEMA ELEVACIÓN.

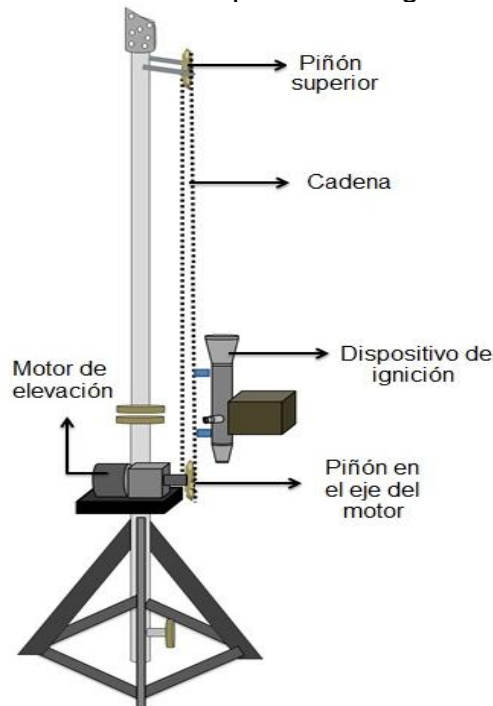
El motor del sistema de elevación, el motor del sistema de ignición y la sirena de alarma constituyen cargas inductivas de elevado consumo de potencia en comparación con los circuitos de alimentación de los sensores, adecuación de sus señales y circuitos microcontrolados que hacen parte del proyecto. Estas cargas

inductivas no necesitan de una etapa de amplificación para su operación, sencillamente se requiere su encendido y apagado en el momento preciso (switcheo) y en el caso del motor de elevación, un circuito que permita su avance y retroceso, también conocido como puente H.

Para cumplir con estos requerimientos se diseñaron circuitos de switcheo y un puente H contruidos a partir de transistores de tecnología MOSFET, los cuales no necesitan corriente de compuerta para su polarización, disipan menos energía y conmutan más rápido que los transistores de otras tecnologías. Aunque presentan la desventaja de tener una baja ganancia, para nuestra aplicación esto no es un factor importante, por el contrario sus ventajas los hacen ideales para nuestro proyecto.

El sistema de elevación es un sistema mecánico compuesto por un motor ubicado sobre la base de la tea, que gira un piñón acoplado en su eje y otro piñón de iguales características situado en la parte superior de la tea; en los dientes de los piñones se engrana una cadena cerrada de acero de 3 metros de longitud a la cual va soldado el dispositivo de ignición. Al activarse el motor la cadena gira con los piñones, lo que hace que el dispositivo se eleve o descienda según la dirección en que gire el motor.

Figura 14. Sistema de elevación del dispositivo de ignición



Sistema de elevación del dispositivo de ignición, ubicación del motor, piñones y del dispositivo

Puesto que todo el proyecto debe ser alimentado con baterías, el motor del sistema de elevación debe ser un motor de corriente continua. Se escogió un motor DC de referencia 550VC-7527L con una caja reductora que le permite incrementar su torque de 5,9 Kg.cm a 154 Kg.cm, lo cual disminuye su velocidad, de 17620 rpm a 75 rpm. Su consumo de corriente en máxima eficiencia es de 10 A y su voltaje nominal de 12V, en un rango de operación de voltaje entre 6 y 14.4 V.

Los piñones se escogieron por ser fáciles de conseguir en el comercio, son comúnmente usados en el tren de arrastre de las motos. Su material es acero y tienen un diámetro de 5cm. Al acoplarlo al eje del motor reduce su capacidad de levantar masa.

Ecuación 5. Expresión del torque (τ)

$$|\tau|[N.m] = distancia\ al\ centro[m] * fuerza[N]$$

Ecuación 6. Expresión en términos de masa y en distancia (cm)

$$|\tau|[kg.cm] = distancia\ al\ centro[cm] * masa[kg]$$

$$masa[kg] = \frac{|\tau|[kg.cm]}{distancia\ al\ centro[cm]}$$

$$masa[kg] = \frac{154 [kg.cm]}{2,5[cm]} = 61.6kg$$

Lo que quiere decir que el motor con los piñones pueden levantar hasta 61.6 kg; el dispositivo junto con la cadena pesan 5kg, esto varía según la altura de la tea debido a que se requiere más longitud de cadena y puede aumentar el tamaño del dispositivo, aun así se considera que la capacidad del sistema es suficiente para una aplicación de campo.

5.2.1. Circuito motor elevación. Este circuito se compone de tres etapas: Etapa Interlock, Etapa optoacoplada y Etapa puente H.

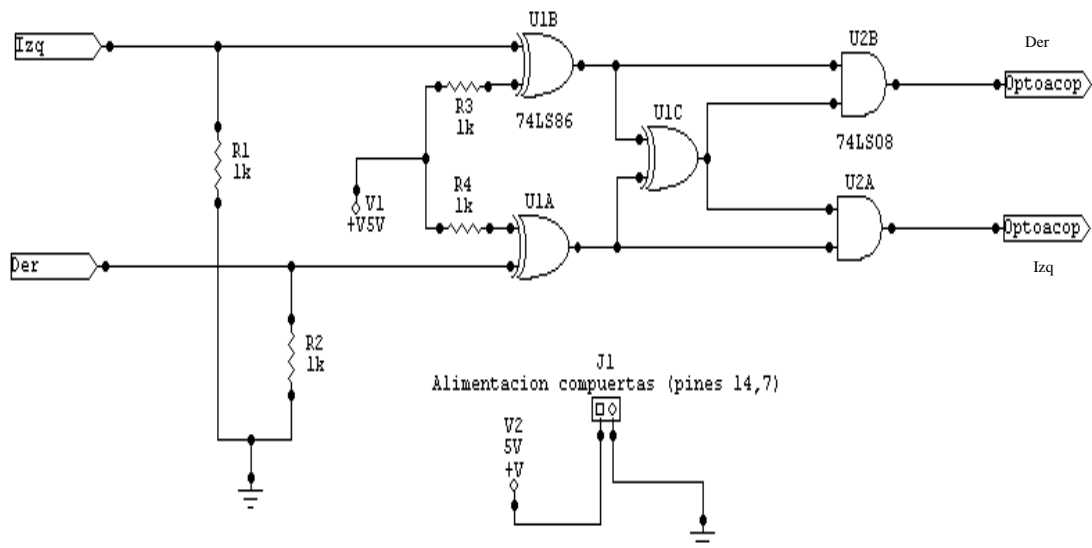
5.2.1.1. Etapa interlock. El interlocking es un método para prevenir estados indeseados en un circuito combinacional, así, la etapa de interlock es un circuito diseñado para evitar que entren dos señales en alto al puente H,

lo cual causaría un cortocircuito debido a la activación simultánea de los 4 transistores Mosfet que lo componen.

El circuito interlock en realidad solo consta de una compuerta XOR y dos compuertas AND; las dos compuertas XOR en la entrada del circuito, al tener siempre una entrada en alto, funcionan como una compuerta NOT. Esta compuerta negadora contrarresta la inversión en la salida, causada por los transistores (NPN) Q2 y Q12 de la etapa optoacoplada.

Con el fin de mantener apagado el motor siempre que no esté energizado y en el instante previo a que se energice el circuito, se colocan dos resistencias de Pull-Down de 1KΩ en las entradas.

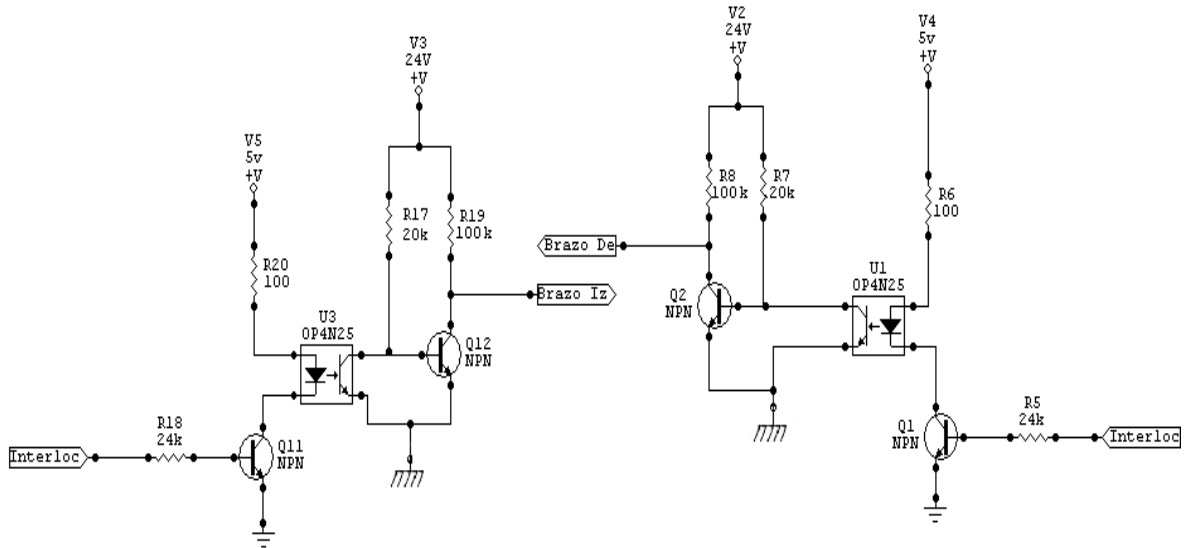
Figura 15. Circuito interlock del circuito motor elevación.



CircuitMaker PRO 6.2C

5.2.1.2. Etapa optoacoplada. Esta etapa es requerida en ambos brazos del puente H. Consta de dos optoacopladores y sus respectivas secciones transistorizadas, que adaptan las señales de salida de la etapa interlock a la puerta de los respectivos transistores Mosfet. Esta etapa aísla el circuito puente H (de potencia), del circuito interlock y de la tarjeta, ofreciéndole seguridad en caso de daños en la etapa de potencia y evitando que el ruido ocasionado por el motor se infiltre en ella.

Figura 16. Etapa optoacoplada del circuito motor elevación.



CircuitMaker PRO 6.2C

Los transistores Q1 y Q11 en la entrada de los optoacopladores 4N25 son necesarios debido a que la salida de las compuertas digitales no ofrece la corriente suficiente para activar el diodo de los mismos.

Los transistores Q1 y Q11 encienden el diodo de su respectivo optoacoplador, el cual funciona con un voltaje de 1.25V a una corriente máxima de 40mA (calculada teóricamente en 37.5mA), que activará el fototransistor del optoacoplador; cuando se activa este fototransistor el voltaje entre base y colector de los transistores Q12 o Q2 es de aproximadamente 0.2V, lo que hace que se apaguen, en este caso el voltaje de colector es el voltaje de fuente y las puertas de los Mosfet involucrados se activan.

Cuando el diodo se encuentra apagado, el transistor del optoacoplador también lo está y hay un voltaje en base lo suficientemente grande para que el transistor Q12 o Q2 se encienda, ocasionando que las puertas de los Mosfet involucrados se apaguen.

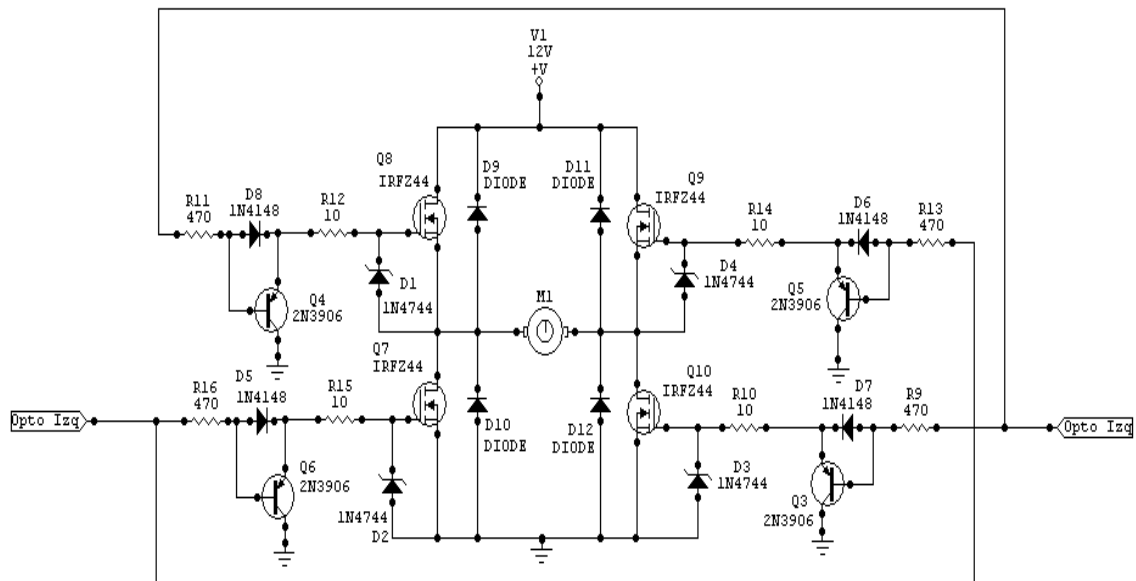
Los transistores Q2 y Q12 para activar el puente H ofrecen un completo encendido y apagado de las puertas de los Mosfet. Presentan el inconveniente de causar la inversión de las señales entrantes, sin embargo, este problema se soluciona con las 2 compuertas XOR que funcionan como una compuerta NOT en la etapa interlock.

5.2.1.3. Etapa puente H. El circuito puente H posee dos etapas intrínsecamente relacionadas: la etapa de potencia, compuesta por 4 Mosfet, 4 diodos de protección y el motor, y la etapa de activación de las compuertas de los Mosfet, la cual consta de 4 diodos zener de 15V, 4 transistores PNP, 8 resistencias y 4 diodos rápidos.

En la etapa de potencia los diodos rectificadores conectados en antiparalelo protegen a los Mosfet de corrientes inversas. En la etapa de activación de las compuertas, todos los componentes funcionan como una fuente estabilizada, el diodo zener de 15V evita que la compuerta reciba un voltaje superior a éste, dado que un voltaje V_{GS} (compuerta - fuente) superior a 20V destruiría la compuerta; el resto de componentes de la etapa de activación funcionan como una fuente que estabiliza la corriente del diodo zener para que ésta no supere la corriente máxima permitida.

La fuente de la etapa que se encarga de activar las puertas de los Mosfet (24V) es el doble de la fuente de voltaje del motor (12V), esto se debe al voltaje mínimo necesario en la compuerta para que los Mosfet superiores Q8 y Q9 entren en saturación: El voltaje V_{GS} toma como referencia el voltaje presente en la fuente (Source), que es el voltaje del motor, lo cual hace obligatorio emplear una tensión superior en la compuerta para obtener un V_{GS} que le permita entrar en saturación. En cambio, las compuertas de los Mosfet inferiores Q7 y Q10 se activan con una fuente de 12V.

Figura 17 Etapa puente H del circuito motor elevación



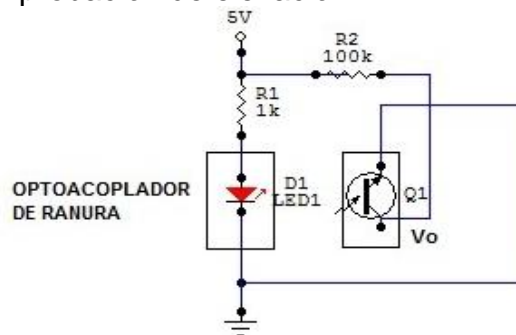
CircuitMaker PRO 6.2C

5.2.2. Características del circuito obtenido:

- Órdenes: apagado, giro izquierda y giro derecha.
- Corriente máxima de 30A.
- Voltaje del motor: únicamente 12V.
- Voltajes auxiliares: 5V para circuito digital y 24V para control de puertas de los Mosfet.
- Diodos de Protección contra corrientes inversas ocasionadas por el motor.
- Diodo zener para protección de voltaje en la compuerta de los Mosfet.
- Etapa interlock.
- Etapa optoacoplada.
- Etapa de potencia.

5.2.3. Circuito de comprobación de elevación y descenso.

Figura 18. Circuito comprobación de elevación.



CircuitMaker PRO 6.2C

Con este circuito se comprueba tanto que el dispositivo se haya elevado hasta el lugar de la ignición como que haya descendido correctamente del mismo.

El optoacoplador de ranura consta de un diodo led infrarrojo de arseniuro de galio y un fototransistor NPN separados por una ranura, de modo que cuando la ranura se encuentra sin obstrucción, el fototransistor está saturado y Vo es un voltaje de

0.13V, en cambio, cuando la ranura está obstruida se obtiene un valor cercano a la alimentación, en este caso, se obtiene un V_o igual a 4.1V.

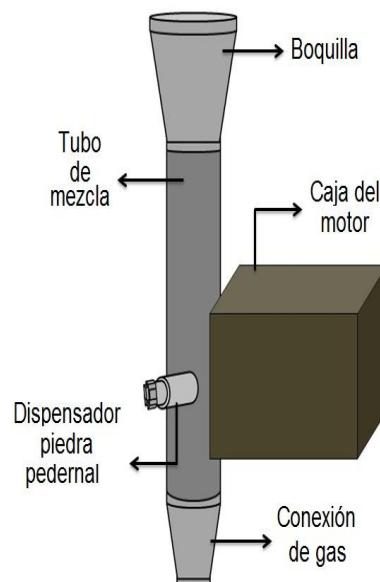
5.3. SISTEMA DE IGNICIÓN

Una de las condiciones de la empresa ICM.SAS para la elaboración del sistema de encendido automático de tea fue que la ignición se realizara por un medio seguro, distinto al encendido eléctrico que emplea bujía.

Se diseñó un sistema de ignición mecánico, compuesto por un motor que gira un rodillo estriado de acero ubicado en su eje, que está en contacto con una piedra pedernal, generando una chispa. La ignición se lleva a cabo en el interior de un tubo de acero inoxidable de 30 cm de largo, en donde se produce una mezcla adecuada de gas y aire; una vez se enciende la mezcla, surge una llama de la boquilla del tubo ubicado previamente cerca del quemador de la tea, permitiendo que la llama se propague.

El material que se escogió para el tubo de mezcla, para la construcción de la caja del motor y del dispensador de piedra pedernal fue acero inoxidable, teniendo en cuenta que en condiciones de instalación en un campo petrolífero pueden estar expuestos a temperaturas de hasta más de 1000 grados.

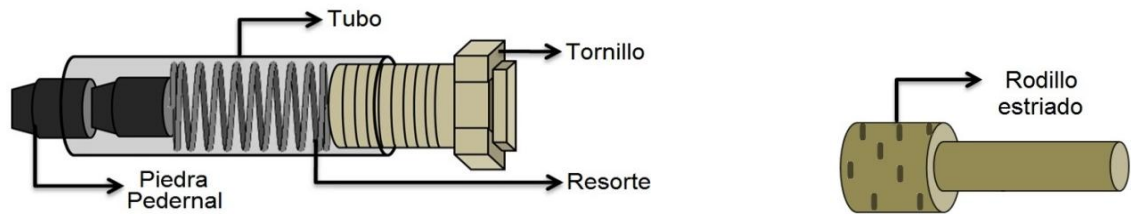
Figura 19. Dispositivo de ignición.



Dispositivo de ignición: partes y ubicación de la caja del motor y el dispensador de piedra pedernal.

El dispensador de piedra pedernal, es un tubo de 10mm de diámetro y 2.5cm de largo, que contiene 2 piedras pedernal presionadas por un resorte de acero inoxidable, soldado a un tornillo que lo mantiene recogido; este resorte empuja las piedras y paulatinamente remplaza la primera a medida que se desgasta por el roce con el rodillo estriado. Por medio de pruebas se determinó la ubicación del rodillo en el eje del motor, de manera que gire con la dirección de las estrías y generar fácilmente la chispa.

Figura 20. Dispensador de piedra pedernal y rodillo estriado.

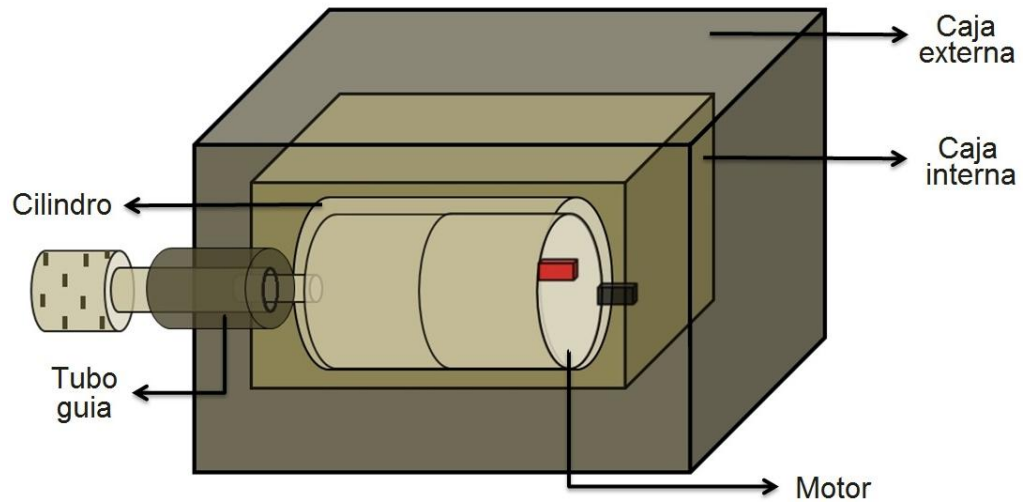


Partes del dispensador de piedra pedernal y rodillo estriado.

Para accionar el rodillo estriado se utilizó un motor Mabuchi **RS-555px- 3255**, de corriente continua y con un rango de operación de 9 a 16 voltios; gira a 4500 rpm, con una corriente máxima de 0.13 A sin carga y a 2960 rpm, con una corriente máxima de 0.95 A a máxima eficiencia. En las pruebas para generar la chispa se observó que al someter el motor a la presión de la piedra pedernal este consumía 0.65 A, comprobando que el motor tiene la fuerza y la velocidad suficientes para trabajar bajo dicha presión. Sin embargo, para el diseño se consideraron los parámetros de máxima eficiencia como medio de precaución en caso de que el tornillo se apriete más de lo debido, generando más presión sobre el eje del motor, lo que aumentaría la corriente; cabe aclarar que en ninguna de las pruebas el motor superó su máxima corriente. Este motor se alimenta con una batería de 12V, 7Ah y su conexión al circuito que lo acciona se hace a través de cable multihilos AWG 16 adecuado para 1 A.

El motor está sostenido por un cilindro de acero inoxidable calibre 20 con huecos de ventilación, dentro de una caja de 7 x 6 x 5 cm del mismo material. Debido a las altas temperaturas provenientes de la radiación de la llama de la tea y del dispositivo, es necesario proteger el motor; se escoge un aislamiento térmico de fibra de vidrio alrededor de la caja, que a su vez estará dentro de otra caja de 9 X 8 x 10 cm, también de acero inoxidable calibre 18; esta caja está soldada al tubo de mezcla y tiene un tubo guía para asegurar que el rodillo quede en la posición exacta dentro del tubo de mezcla. Para probar que el aislamiento térmico fuera efectivo, se sometió la caja a la llama directa de una estufa, alcanzando en la posición del motor una temperatura máxima de 58°C, tolerable incluso para dispositivos electrónicos.

Figura 21. Caja del motor de ignición



Partes de la caja del motor de ignición y ubicación del motor.

Figura 22 Prueba de aislamiento



Prueba de aislamiento de la fibra de vidrio

En la aplicación en campo, una electroválvula permitirá el paso de gas hacia el tubo de mezcla. Para efectos del prototipo se utilizó una electroválvula Nass magnet, normalmente cerrada, DC a 12 voltios, con una corriente de 560mA. Se considera que al generar la chispa se garantiza la ignición, por lo cual las pruebas no se realizaron con gas, sino comprobando que la electroválvula abra y cierre.

5.3.1. Circuito para activar el motor de ignición. Este circuito activa el motor de ignición cuando se requiere generar la chispa; está conectado a una salida digital de la tarjeta, que envía una señal en alto para activarlo y una señal en bajo para apagarlo por medio de un transistor Mosfet IRF540 que se polariza con voltaje. Se utilizó un optoacoplador 4N25 como aislamiento de la tarjeta de corrientes indeseadas provenientes de la carga inductiva; cuando el led es alimentado a 5V, conduce corriente por el transistor, cerrando el circuito, la caída de tensión entre base y colector es de 0.2 V, esto hace que el voltaje de la batería caiga en R2 y en la compuerta del mosfet, que entra en región activa, permitiendo que todo el voltaje caiga sobre el motor activándolo. Cuando el led del optoacoplador no está alimentado, el transistor queda en circuito abierto, haciendo que la caída de tensión entre base y colector sea el voltaje de la batería, en R2 y en la compuerta del mosfet el voltaje es prácticamente cero, por lo tanto no se encuentra activo, manteniendo el motor apagado. En ninguno de los dos casos circula corriente por R1, se colocó como precaución para la compuerta del mosfet.

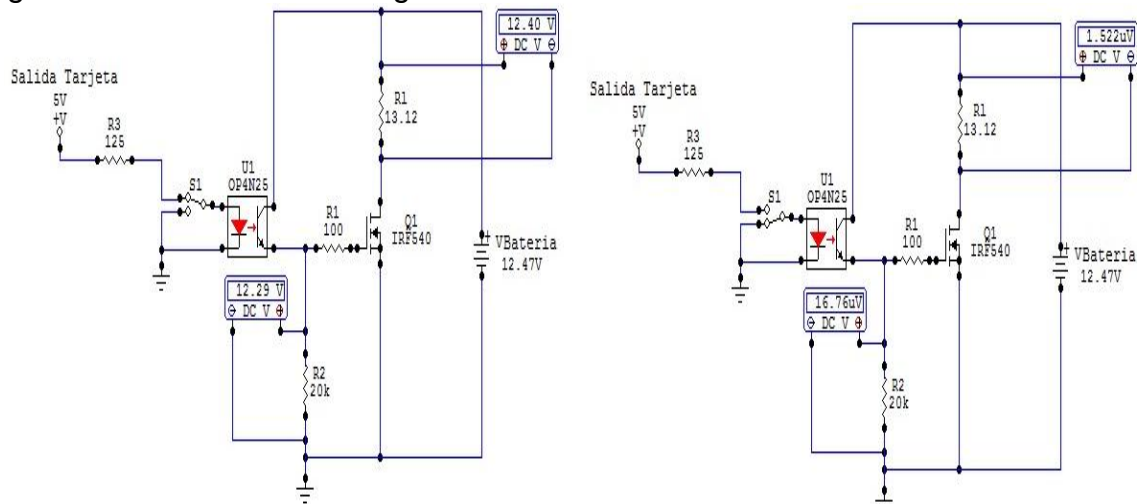
Para efectos de simulación se reemplazó el motor por una carga resistiva, pues no se encontraba un motor con las mismas características en el simulador.

Ecuación 7. Cálculo de la carga resistiva RL

$$R_{load} = \frac{V_{Bateria}}{i_{Motor}} = \frac{12.47V}{0.95A} = 13.12\Omega$$

El voltaje $V_{Bateria}$ es el voltaje medido en las terminales de la Batería.

Figura 23. Circuito motor de ignición



CircuitMaker PRO 6.2C

5.3.2. Circuito activación electroválvula. El circuito de activación de la electroválvula tiene el mismo funcionamiento del circuito de activación del motor de ignición y de la alarma.

La tarjeta envía una señal en alto que activa el circuito y abre la electroválvula, permitiendo el paso de gas hacia el tubo de mezcla cuando se requiere generar la llama; luego envía una señal en bajo que cierra la electroválvula e impide el paso del gas.

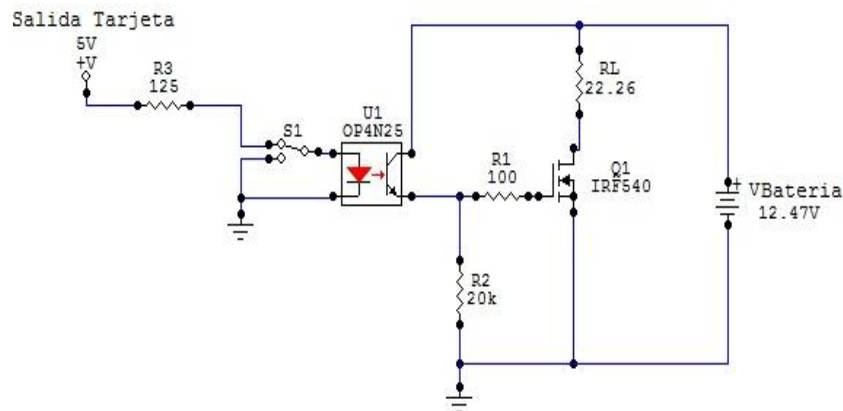
Para efectos de simulación se reemplazó la electroválvula por una carga resistiva, debido a que esta no se encuentra en el simulador.

Utilizando la ecuación 7. Se calcula la carga resistiva R_L .

$$R_{load} = \frac{V_{Bateria}}{i_{Electroválvula}} = \frac{12.47V}{560mA} = 22.26\Omega$$

El voltaje $V_{Bateria}$ es el voltaje medido en las terminales de la Batería.

Figura 24. Circuito activación electroválvula.



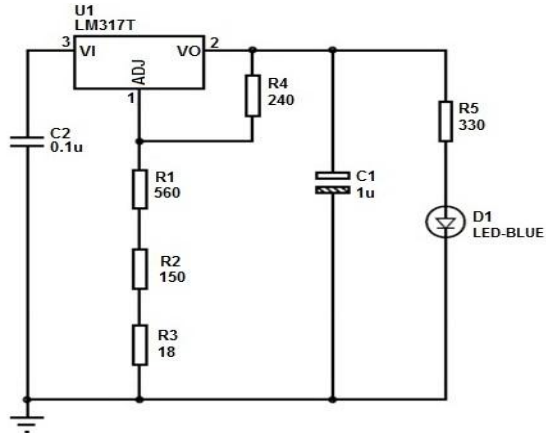
CircuitMaker PRO 6.2C

5.4. FUENTE DE ALIMENTACIÓN

5.4.1. FUENTE DE ALIMENTACIÓN 5V. Para la alimentación del backlight del display LCD se requiere de una fuente independiente de 5V, conformada por un regulador de voltaje LM317T, alimentado con una batería de 12.47V y configurado

para que su salida sea un voltaje constante de 5V; además cuenta con un led azul que se ilumina cuando el circuito esta energizado.

Figura 25 Circuito fuente de alimentación de 5V.

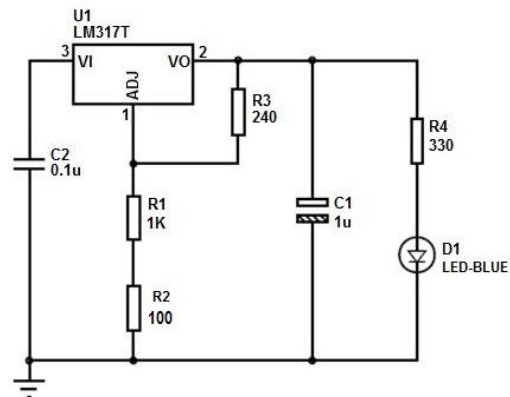


ISIS Professional v7.6

Este mismo esquema es utilizado para la construcción de otra fuente de alimentación de 5V; para energizar el display LCD, el sensor de temperatura LM35, el circuito de comprobación de elevación y descenso, y los botones de interrupción.

5.4.2. FUENTE DE ALIMENTACIÓN 7V. Para la alimentación de la tarjeta Arduino Mega 2560, se requiere de una fuente independiente de 7V, conformada por un regulador de voltaje LM317T, alimentado con una batería de 12.47V y configurado para que su salida sea un voltaje constante de 7V; también cuenta con un led azul que se ilumina cuando la tarjeta está energizada.

Figura 26. Circuito fuente de alimentación de 7V.



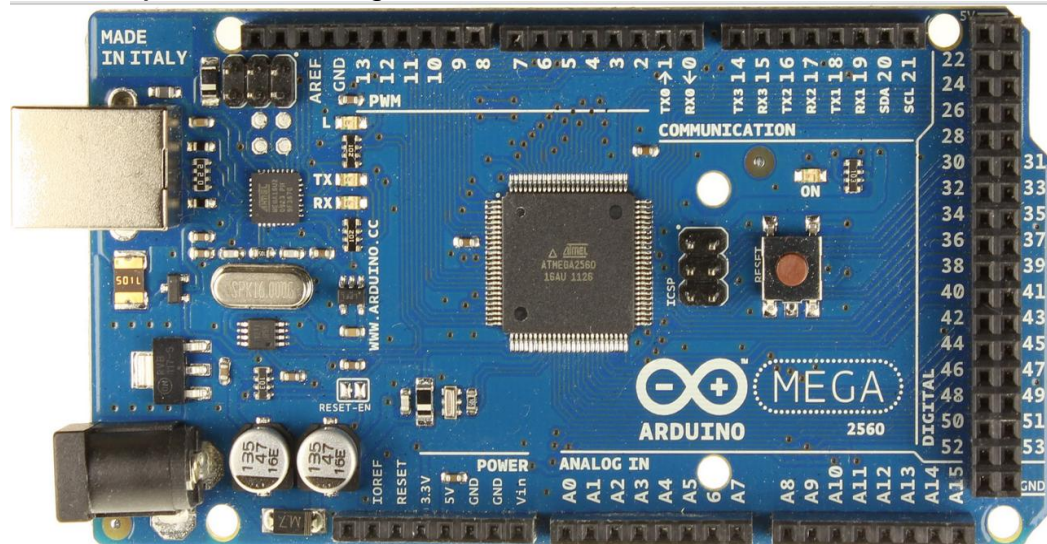
ISIS Professional v7.6

5.5. CAJA DE CONTROL

El sistema que automatiza el encendido de la tea recibe entradas de una variedad de sensores, activando luces, alarmas, motores y otros actuadores en su respuesta.

Para el control del sistema se escogió la tarjeta de hardware libre Arduino Mega 2560, debido a que cumple con las características deseadas para el proyecto como lo son su posibilidad de alimentarla con una batería, que la hace factible de operar en una zona sin acceso al servicio eléctrico convencional, bajo precio y la oportunidad de expandir sus aplicaciones añadiendo módulos de hardware o shields. Esta tarjeta está basada en el microcontrolador ATmega2560 con 54 pines digitales de entrada y salida, 16 entradas análogas, un cristal oscilador de 16 MHz, 4 puertos seriales, comunicación SPI e I2C, conexión USB, entre otras características. Un aspecto a destacar es que Arduino cuenta con distribuidores oficiales en Colombia, lo que simplifica el reemplazo o las devoluciones.

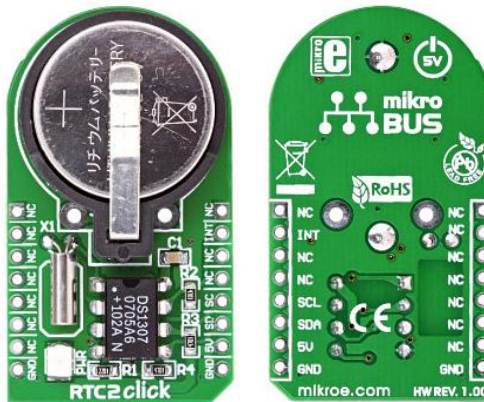
Figura 27. Tarjeta Arduino Mega 2560.



<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>

Con el objetivo de registrar en un medio electrónico los instantes en que se apaga la tea para su monitoreo, se añade a la tarjeta un módulo SD Card, que permite el almacenamiento de la información en un medio removible; y un módulo RTC2CLICK, que funciona de manera similar a la BIOS de un computador, proporcionando de forma constante la fecha y hora del sistema, la cual será transferida por la tarjeta a la SD Card en el instante en que la tea se apague.

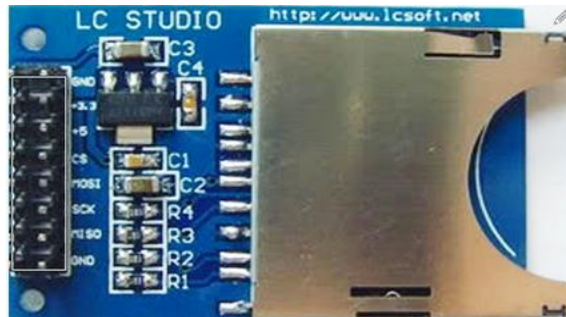
Figura 28. Módulo RTC2CLICK.



<http://www.mikroe.com/click/rtc2/>

Este módulo es un reloj y calendario que cuenta con un reloj en tiempo real (RTC) de referencia DS1307, el cual almacena esta información en formato decimal binario codificado (BCD), usando el sistema UNIX de descripción de instancias de tiempo (número de segundos transcurridos a partir del 1 de enero de 1970) y que cuenta con una batería de litio (3V/230mA) como alimentación de respaldo, la cual asegura la continuidad del almacenamiento de la información aún cuando la alimentación principal de 5V es apagada. Emplea la interfaz I2C (TWI, Two Wire Interface) para el establecimiento de la fecha y hora actuales y para su comunicación con otros dispositivos. En la tarjeta, los pines de comunicación TWI son el 20 (SDA) y el 21(SCL).

Figura 29. Módulo SD CARD



<http://starwardrockets.com/arduino/how-to-connect-and-test-the-lc-studio-sd-brakeout-board-to-and-arduino>

Para el almacenamiento removible de información existen diferentes versiones de shields SD Card y mini SD Card de distintos fabricantes, compatibles con determinadas tarjetas arduino y que permiten transportar la información a un computador que lea este tipo de memoria para la visualización y manipulación de la información que contienen. La versión escogida del módulo SD Card shield es

compatible con la tarjeta Arduino MEGA 2560 y emplea la comunicación SPI (Serial Peripheral Interface), que corresponde a los pines 50(MISO), 51(MOSI), 52(SCK) y 53(SS) (CS en el shield) de la tarjeta.

Figura 30. Datos almacenados en la memoria SD Card.



Datos de hora y fecha del momento en que se apagó la tea.

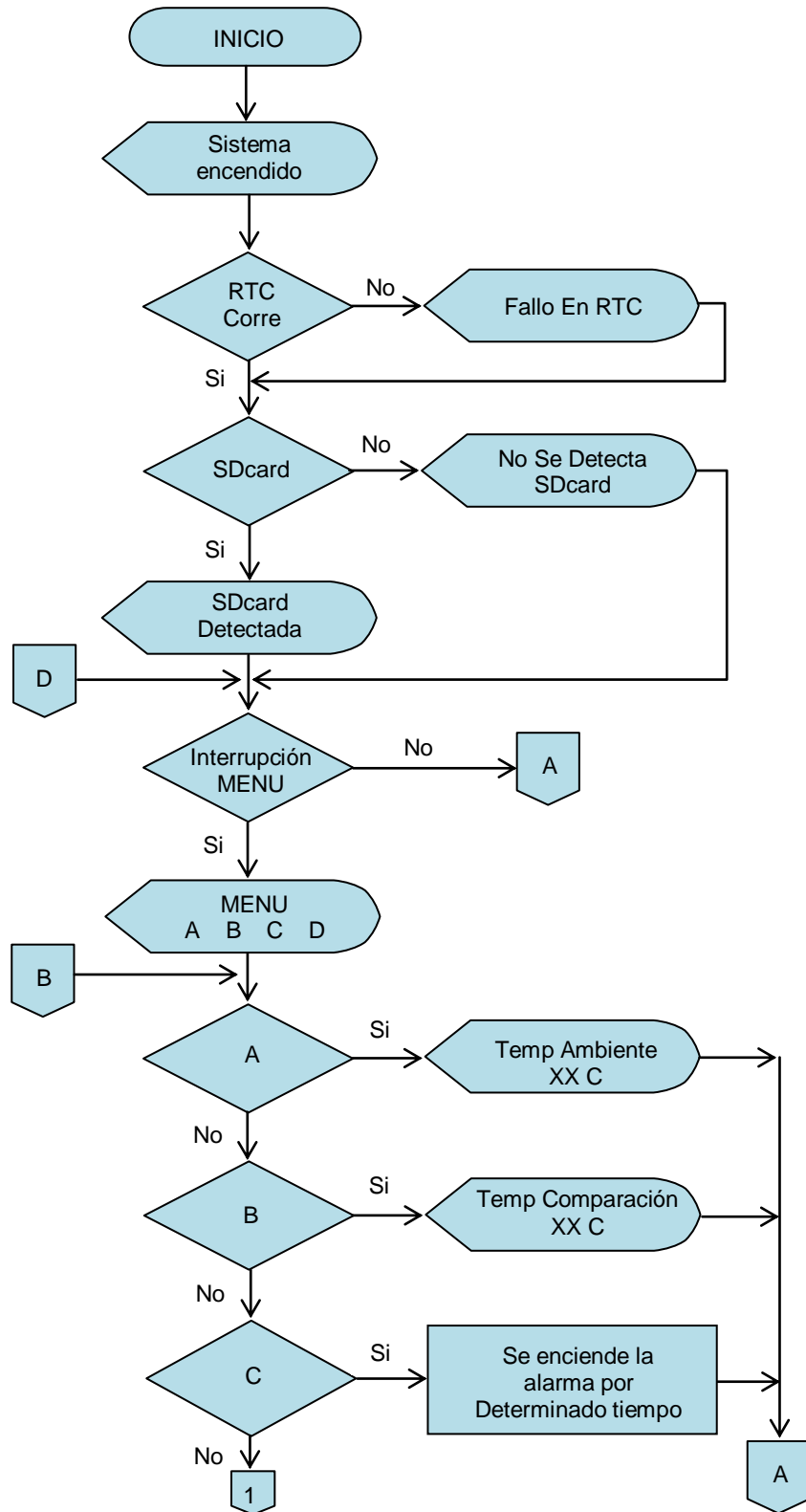
La caja de control cuenta con un display LCD de 16 x 2 caracteres, en el cual se visualiza constantemente el estado de la tea y el valor de la temperatura medida por la termocupla. Por medio del botón menú se visualizan datos del funcionamiento del sistema y presionando el botón Configurar temperatura, se accede a cambiar la temperatura de comparación, es decir la temperatura con la cual se considera que la tea está encendida. Además, cuenta con leds que indican la activación de las distintas salidas.

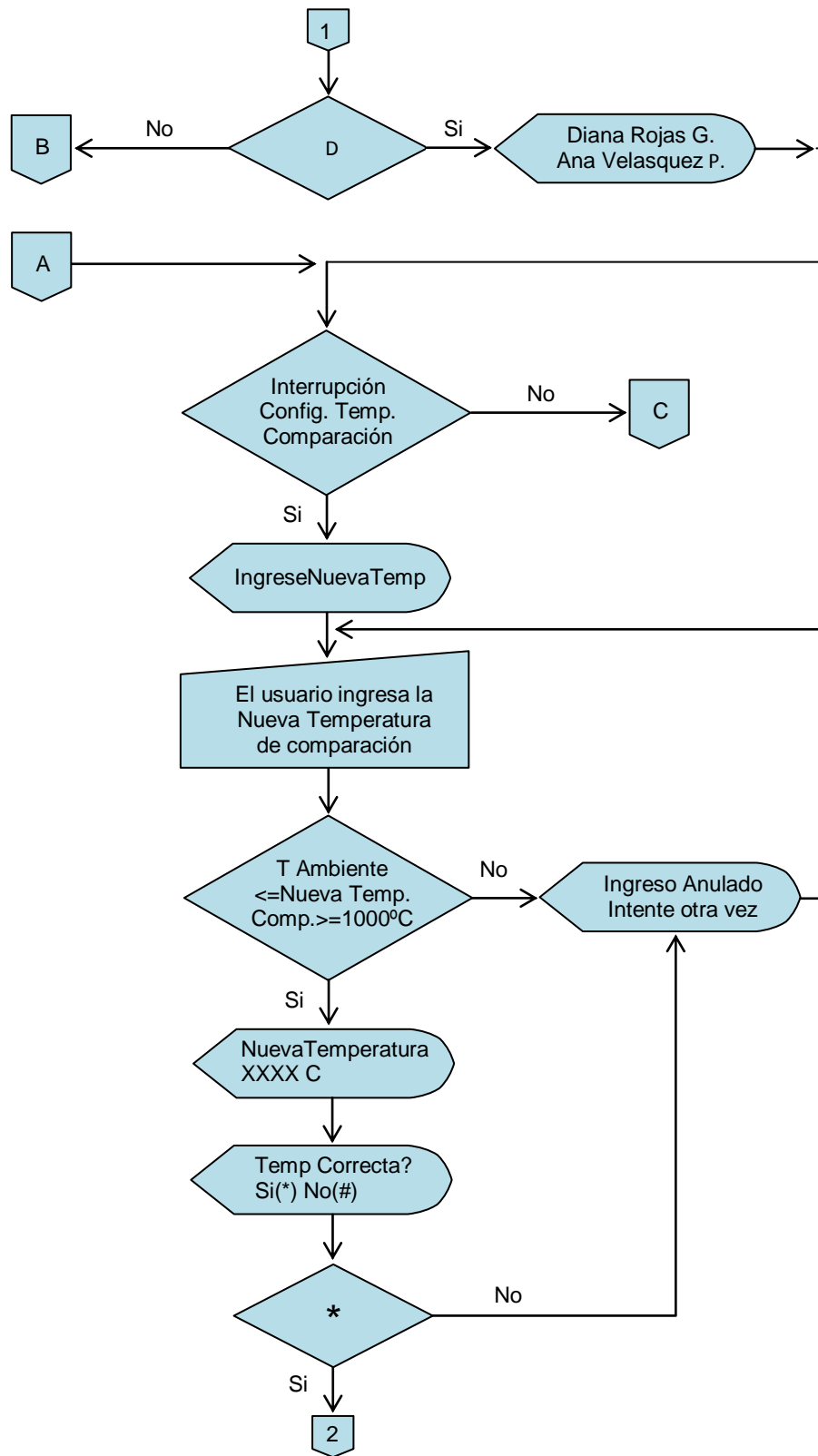
Tabla 1. Señalización de salidas

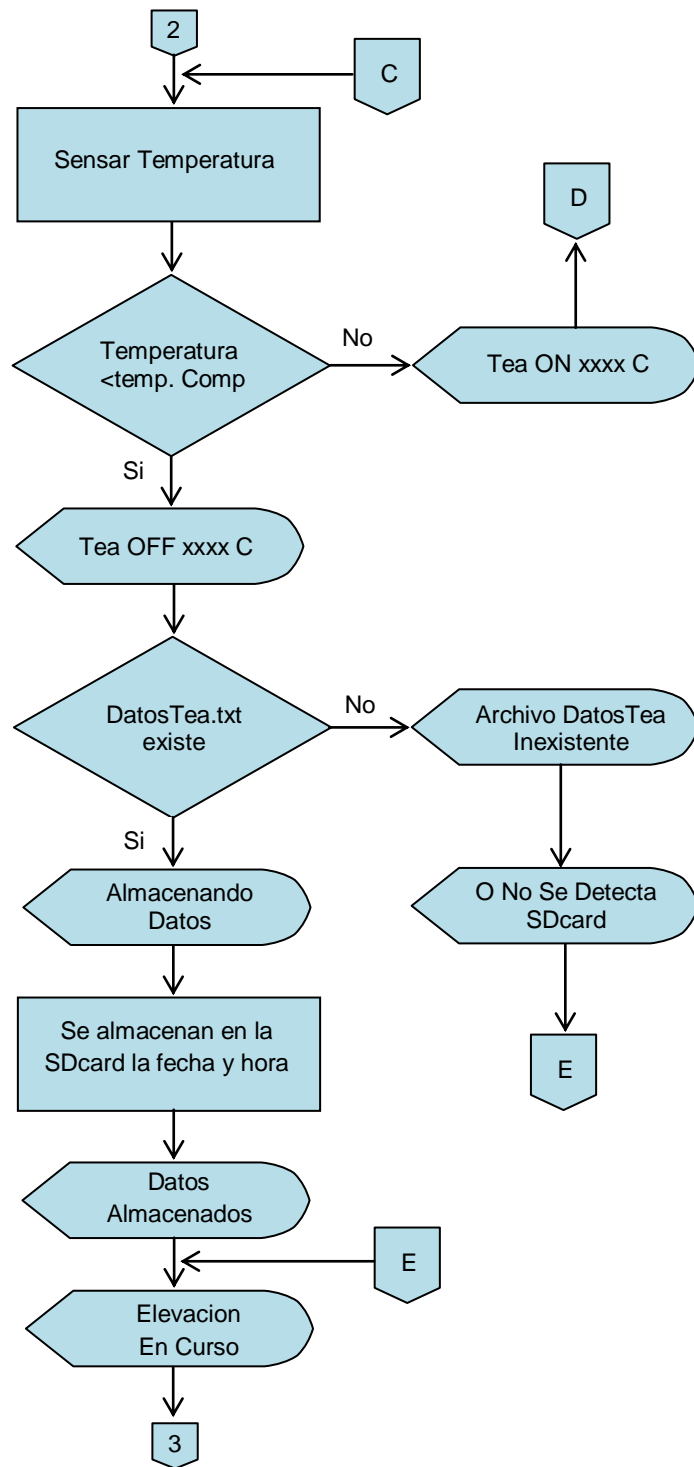
Color del LED	Salida	Descripción
VERDE Y ROJO (led dual)	Sistema de elevación	En verde indica que el dispositivo de ignición está siendo elevado y en rojo indica que el dispositivo de ignición está descendiendo.
AMARILLO	Motor de ignición	Indica que el motor de ignición se encuentra activo.
VERDE	<i>Electroválvula</i>	Indica que la electroválvula permite el paso de gas.
ROJO	<i>Alarma</i>	Indica que por alguna razón externa la tea no pudo ser encendida, o que se activó la alarma a voluntad.

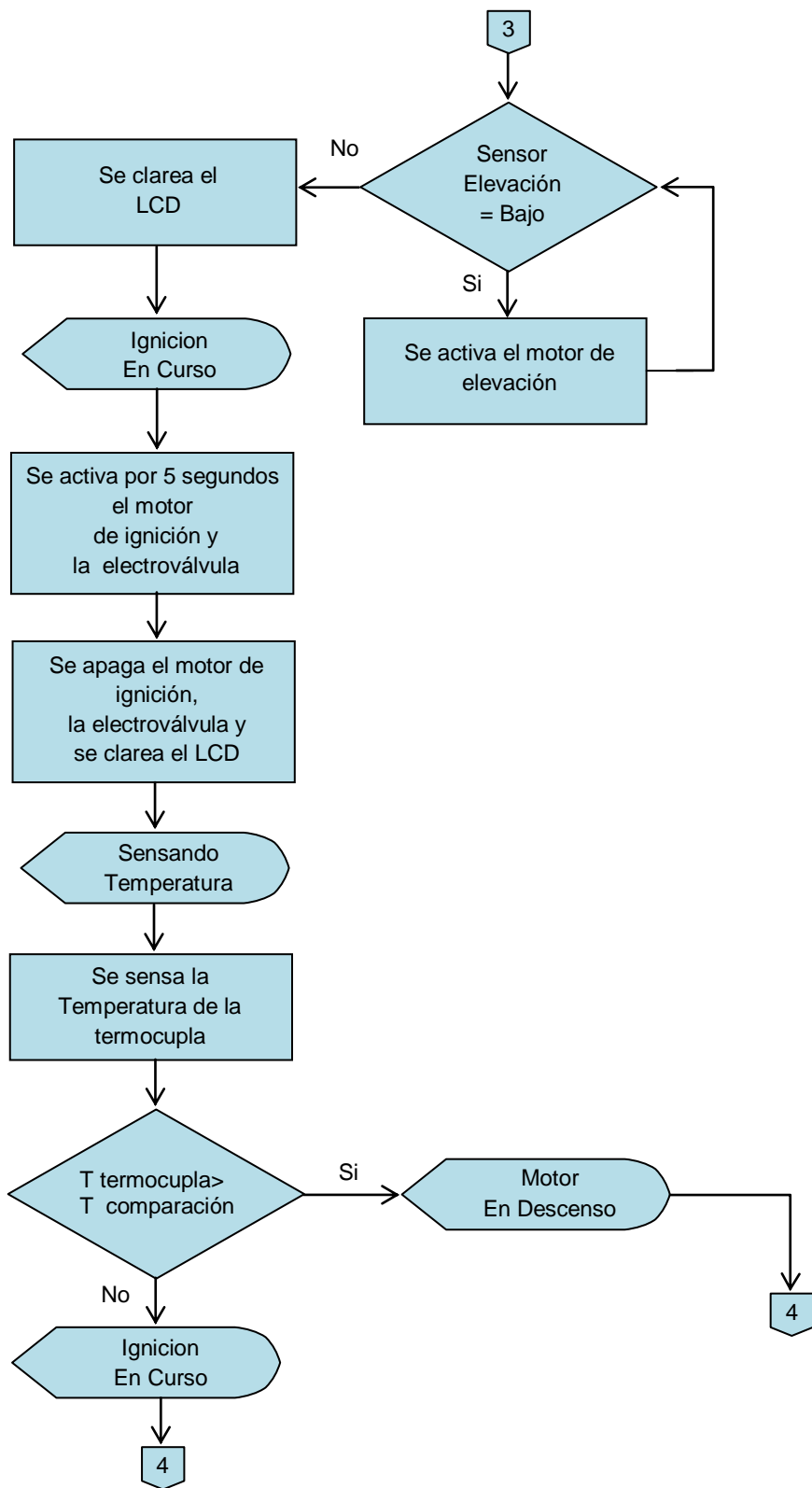
Leds indicadores del funcionamiento del sistema

5.6. DIAGRAMA DE FLUJO









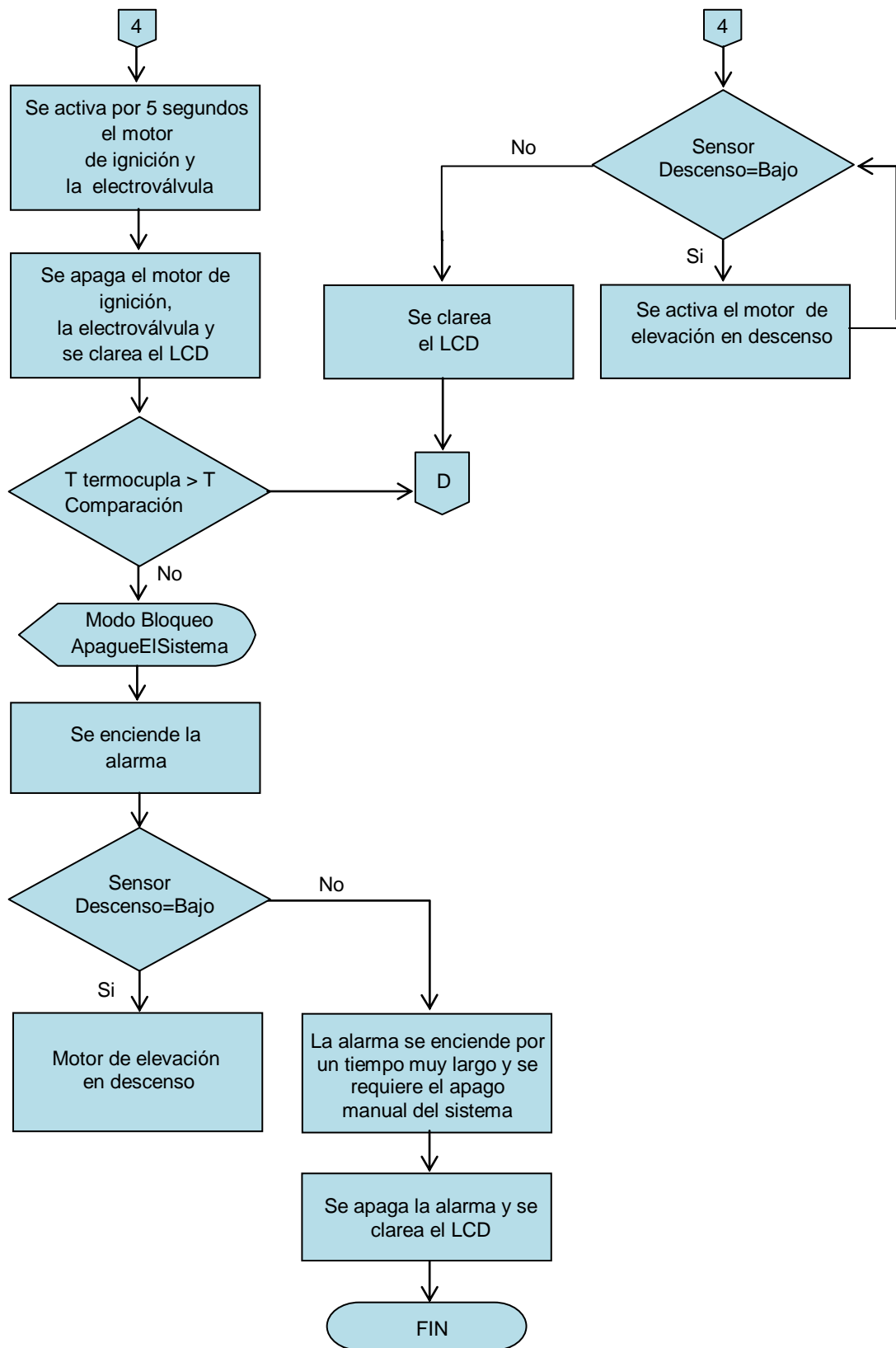


Diagrama de flujo del Sistema de encendido automático tea. Arduino 1.0.2

5.7. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Cuando el sistema inicia, comprueba si el reloj RTC está funcionando y la presencia de la SD Card. A continuación verifica si ha habido una interrupción de menú, en el cual se encuentran las opciones de visualizar la temperatura ambiente, la temperatura de comparación, encender la alarma a voluntad por un tiempo determinado y los nombres de las autoras del proyecto.

Luego el sistema se cerciora si ha habido una interrupción de configuración de temperatura de comparación; si es así, el sistema solicita ingresar la nueva temperatura que como se mencionó anteriormente, debe ser un valor entre la temperatura ambiente y 1000°C.

Teniendo en cuenta el último valor establecido como temperatura de comparación el sistema determina el estado de la tea, si se encuentra encendida, el sistema continúa sensando la temperatura y verificando si han habido interrupciones. Si está apagada, se almacenan los datos de la fecha y la hora en la SD Card y se procede a realizar la elevación del dispositivo de ignición en lo que se denomina un primer intento; el sensor de elevación verifica que el dispositivo se haya situado en el sitio correcto, se activa la ignición y nuevamente la temperatura de la tea es sensada para determinar si encendió, si es así, el dispositivo de ignición desciende, el sensor de descenso verifica que el dispositivo haya regresado a su posición inicial y el sistema continúa sensando la temperatura y verificando si han habido interrupciones; si en este primer intento la tea no encendió, se procede a realizar un segundo intento, con lo cual se vuelve a activar el sistema de ignición; una vez más, el sistema sensa la temperatura de la tea para determinar si en esta ocasión encendió, de ser así, el dispositivo desciende. En caso de que no haya encendido se inicia el modo bloqueo, en el cual mientras el dispositivo desciende se activa la alarma, indicando que por cuestiones externas o alguna falla no fue posible encender la tea y se requiere el apagado manual del sistema.

5.8. SOFTWARE

El software del sistema debe ser capaz de:

- Permitir la visualización constante del estado de la tea y la temperatura medida por la termocupla.

- Generar y guardar un archivo de texto en una SD Card que almacene la hora y fecha en que se apaga la tea.
- Recibir e interpretar la entrada de señales proveniente de los sensores y generar una respuesta, activando luces, alarmas, motores y otros actuadores.

Para lograr lo anterior la plataforma de hardware arduino, cuenta con su respectivo software de programación, de licencia gratuita y programación sencilla basada en C/C++, que facilita su manejo.

5.9. SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

Para la alimentación del proyecto se escogió este tipo de energía, debido a que muchos campos petrolíferos están localizados en zonas sin acceso a la energía eléctrica convencional y en caso de que exista, las teas suelen estar muy alejadas de las conexiones.

Figura 31 . Esquema energía solar fotovoltaica.



Esquema de alimentación de una carga DC con energía solar fotovoltaica.

Para efectos de seguridad la alimentación de la sección microcontrolada y circuitos de baja potencia se separa de la alimentación de cargas inductivas.

5.9.1. Alimentación de la sección microcontrolada y circuitos de baja potencia. Usando la ecuación 4 se determina la potencia instantánea de la parte microcontrolada y de los circuitos no inductivos (baja potencia).

$$\begin{aligned}
 P_t &= V_t * I_t \\
 P_t &= 7V * 1.81A \\
 P_t &= 12.67W \\
 P_1 &= P_t + P_{c1} \\
 P_1 &= 12.67W + 1W \\
 P_1 &= 13.67W
 \end{aligned}$$

Donde:

P1 Potencia instantánea del primer sistema.

Pt Potencia instantánea tarjeta.

Pc1 Potencia instantánea de circuitos, estimada 1W.

A continuación se calcula el consumo energético teórico

Ecuación 8. Cálculo del consumo energético teórico.

$$\begin{aligned}ET_1 &= P1 * h \\ET_1 &= 13.67W * 5h \\ET_1 &= 130 W.h\end{aligned}$$

Donde:

ET₁ Consumo energético teórico.

h Número de horas de funcionamiento al día.

Para efectos de realizar las pruebas del dispositivo se consideraron 5 horas de funcionamiento y 1 día de autonomía.

Ecuación 9. Expresión del parámetro de rendimiento

$$R = (1 - kb - kc - kv) * \left(1 - \frac{ka * N}{pd}\right)$$

Dónde:

R: parámetro de rendimiento

Kb: coeficiente de pérdidas por rendimiento del acumulador.

0.05 en sistemas que no demanden cargas intensas.

0.1 en sistemas con descargas profundas.

Kc: coeficiente de pérdidas en el convertidor.

0.05 para convertidores senoidales puros, trabajando en régimen óptimo.

0.1 en otras condiciones de trabajo, lejos del óptimo.

Kv: coeficiente de pérdidas varias, Agrupa otras perdidas como (rendimiento de red, efecto joule, etc.)

0.05 - 0.15 Como valores de referencia.

Ka: coeficiente de autodescarga diario.
0.002 para baterías de baja autodescarga Ni-Cd.
0.005 Para baterías estacionarias de Pb-acido (las más habituales).
0.012 para baterías de alta autodescarga (arranque de automóviles).

N: Número de días de autonomía de la instalación:
Serán los días que la instalación deba operar bajo una irradiación mínima (días nublados continuos) en los cuales se va a consumir más energía de la que el sistema fotovoltaico va a ser capaz de generar.

Pd: Profundidad de descarga diaria de la batería:
Esta profundidad de descarga no excederá el 80% (referida a la capacidad nominal del acumulador), ya que la eficiencia de este decrece en gran medida con los ciclos de carga-descarga muy profundos.²

Para este proyecto se consideraron los siguientes coeficientes de pérdida:

Kb= 0.1

Kv= 0.15

Ka= 0.005

N=1

Pd=0.7

Kc no se tiene en cuenta porque todas las cargas funcionan con corriente continua por lo cual el sistema no requiere de un inversor.

Utilizando la ecuación anterior

$$R = (1 - 0.1 - kc - 0.15) * (1 - \frac{0.005 * 1}{0.7})$$

$$R = 0.744$$

Teniendo en cuenta el consumo energético teórico y el parámetro de rendimiento, se calcula el consumo energético real del sistema.

Ecuación 10. Cálculo del consumo energético real

$$E_1 = \frac{ET}{R}$$

$$E_1 = \frac{68.35 \text{ W.h}}{0.744}$$

$$E_1 = 91.86 \text{ W.h}$$

² OÑATE, Diego. Diseño de una instalación solar fotovoltaica. 2006. p 5,6.

Donde:

E_1 Consumo energético real del primer sistema.

Ahora se calcula la capacidad del banco de baterías que le proporciona autonomía de funcionamiento al sistema, en ausencia o carencia de luz solar.

Ecuación 11. Cálculo de la capacidad del banco de baterías.

$$C_1 = \frac{E * N}{V * Pd}$$
$$C_1 = \frac{91.86W.h * 1h}{12V * 0.7}$$
$$C_1 = 10.93 A.h$$

Dónde:

C_1 Capacidad del banco de baterías del primer sistema.

V Tensión nominal del acumulador = 12V.

Empleando los mapas de radiación solar de cada uno de los meses del año, se determinan las horas de pico solar (HPS) en la ciudad de Neiva, lugar de prueba del prototipo, que en promedio son 4.33 horas.

Se elige la potencia pico (WP) de los paneles que se van a utilizar. Para este proyecto se realizaron los cálculos con paneles de 100W pero, como no se dispone de los recursos económicos para adquirirlos nuevos, se emplean paneles solares del semillero de energías alternativas (SEA-USCO).

Ecuación 12. Cálculo de paneles de 100W requeridos.

$$NP_1 = \frac{E}{0.9 * WP * HPS}$$
$$NP_1 = \frac{91.74 W.h}{0.9 * 100W * 4.33h}$$
$$NP_1 = 0,23$$

Como resultado el primer sistema solar fotovoltaico debe contar con dos baterías de 12 V, 7.5 A.h para su alimentación y 1 panel de al menos 23W de potencia.

Para la regulación de la carga de los sistemas del proyecto se dispone de tres reguladores: uno de 12V, 8A, uno de 12V, 10A y otro de 12/24V, 20/10A. Para este sistema el regulador debe ser capaz de suministrar una corriente de $91.74\text{Wh}/12\text{V}=7.64\text{Ah}$, por lo cual el primer regulador es suficiente para el sistema.

5.9.2. Alimentación de cargas inductivas. Usando la ecuación 4 se calcula la potencia instantánea de las cargas inductivas y sus respectivos circuitos.

$$\begin{aligned}P_e &= 12V * 10A = 120W \\P_i &= 12V * 0.65 = 7.8 W \\P_a &= 12V * 150 mA = 1.8 W\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_2 &= P_e + P_i + P_a + P_{c2} \\P_2 &= 130.6 W\end{aligned}$$

Donde:

- P2 Potencia instantánea del segundo sistema.
- Pe Potencia instantánea motor de elevación.
- Pi Potencia instantánea motor de ignición.
- Pa Potencia instantánea de la alarma.
- Pc2 Potencia instantánea de circuitos, estimada 1W.

Utilizando la ecuación 8 se calcula el consumo energético teórico del sistema.

$$ET_1 = 130.6 W.h$$

Para efectos de realizar las pruebas del dispositivo se consideraron 1 hora de funcionamiento y 1 día de autonomía. Se utiliza el mismo parámetro de rendimiento del primer sistema $R= 0.744$.

Ahora con la ecuación 10 hallamos el consumo energético real.

$$E_2 = 175.53 W.h$$

Luego se determina la capacidad del banco de baterías utilizando la ecuación 11.

$$C_2 = 20.89 \text{ A.h}$$

Con la ecuación 12 se establece el número de paneles necesarios.

$$NP_2 = 0,45$$

El segundo sistema fotovoltaico debe contar con tres baterías de 12 V/7.5 A para su alimentación y 1 panel de al menos 45W.

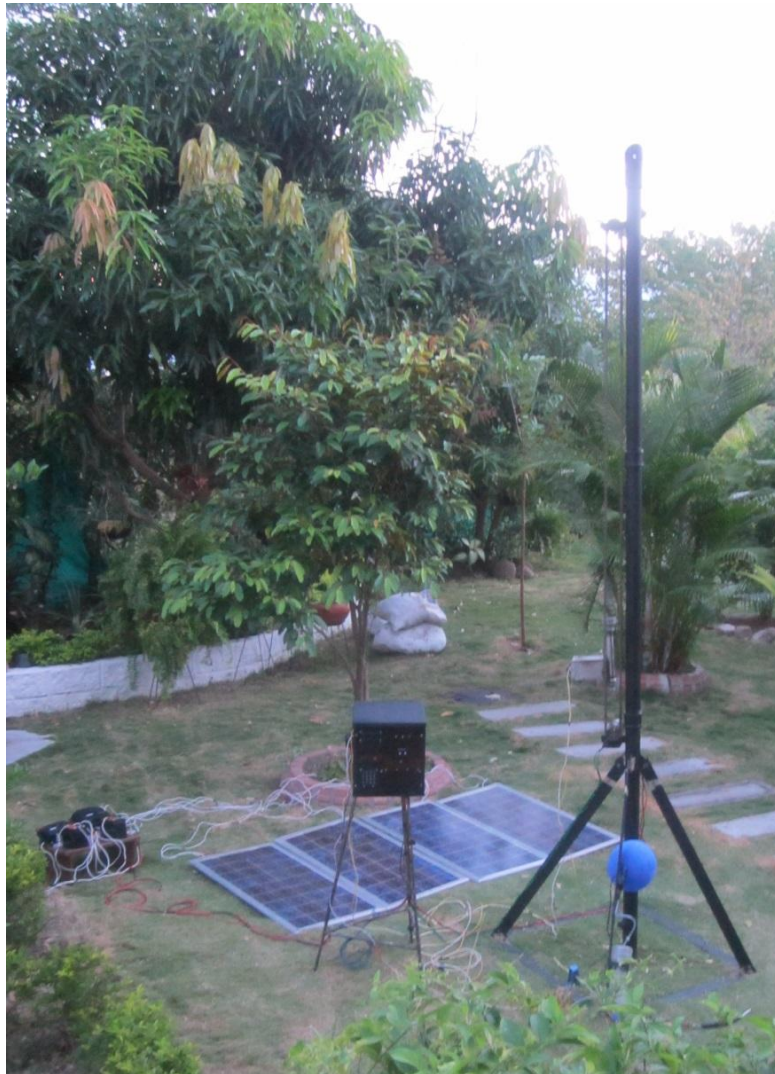
La función del regulador en este sistema únicamente es cargar la batería cuando sea necesario, es decir que la corriente que el regulador es capaz de suministrar a una carga no afecta al sistema. Las cargas inductivas y sus respectivos circuitos van conectados directamente a la batería y no a los bornes de conexión del regulador, por lo cual se puede utilizar cualquier regulador; en este proyecto se emplea el regulador de 12V, 10A que se tiene disponible.

6. RESULTADOS

6.1. RESULTADOS DE HARDWARE

Teniendo en cuenta las dimensiones de los circuitos que hacen parte de la caja de control y procurando que ésta tenga un tamaño práctico y adecuado para su transporte, se decide elaborar un chasis metálico de 28cm x 30.5cm x 26cm; este chasis tiene una estructura de acrílico en su interior, que permite ubicar los circuitos atornillados en láminas acrílicas en posición vertical mediante rieles que las aseguran. Luego se realiza el respectivo montaje e inicio del sistema.

Figura 32. Sistema de encendido automático de tea instalado



Esquema de alimentación de una carga DC con energía solar fotovoltaica.

La instalación del prototipo y la realización de las pruebas de funcionamiento se iniciaron el día 28 de julio de 2013 a las 9.00 AM. En la figura 32 se observa el prototipo de una tea de baja, el dispositivo de ignición, el sistema de elevación, la caja de control y el sistema de alimentación solar fotovoltaico.

Estas pruebas se realizaron para comprobar el correcto funcionamiento de los sistemas que conforman el proyecto, se verificó que el dispositivo de ignición se elevara correctamente hasta el punto considerado adecuado para propagar la llama a la tea; se comprobó la correcta y oportuna apertura de la electroválvula, el almacenamiento de la hora y fecha en la cual la tea se apaga, el acceso al menú y la configuración de la temperatura de comparación del sistema.

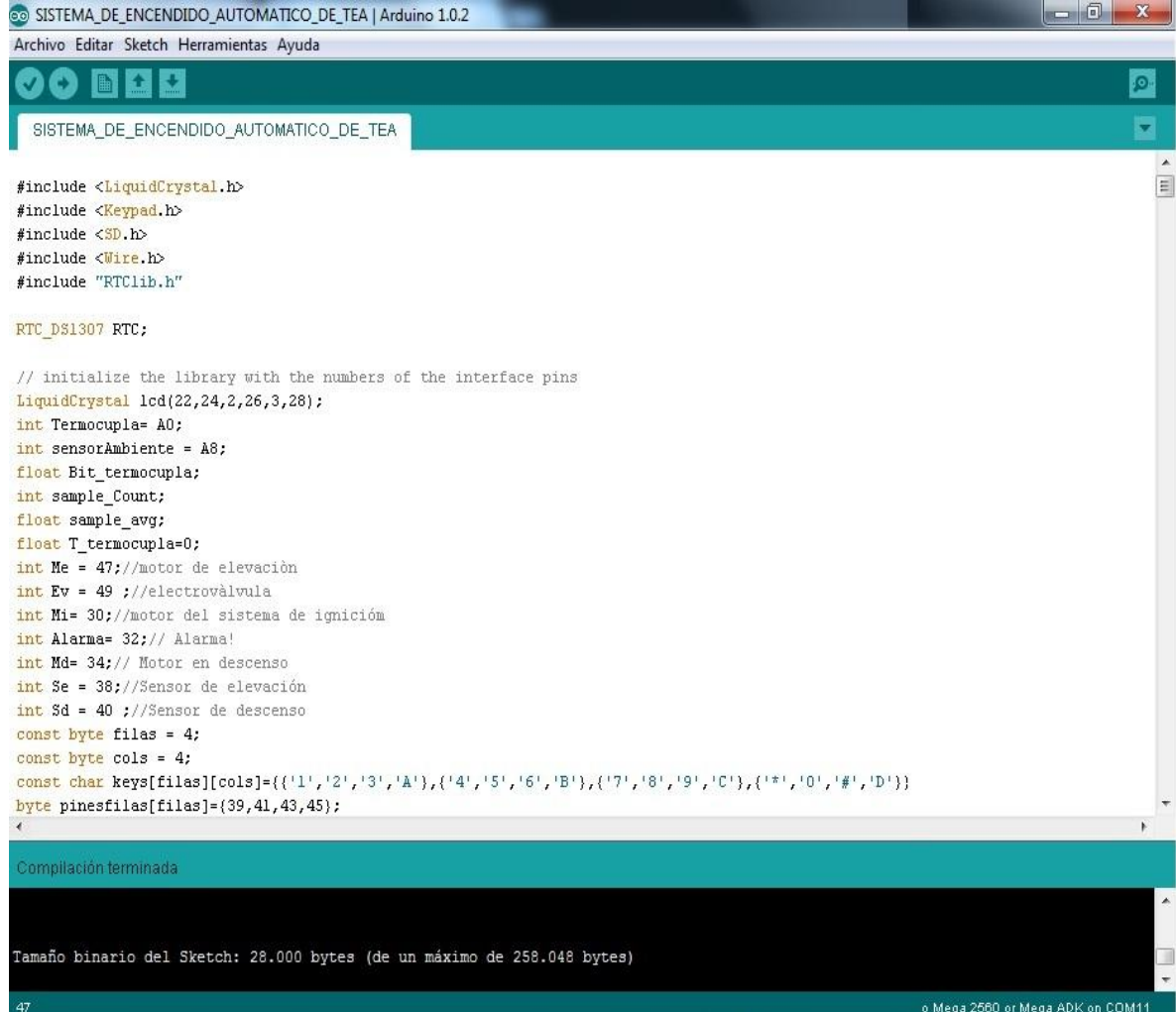
Debido a la falta de una locación adecuada para el uso de gas en las pruebas y considerando que al garantizar la chispa se genera la ignición, fue reemplazada la llama de la tea con la llama de un mechero y el flujo de gas con flujo de aire a través de la electroválvula. Se configuró como temperatura de comparación 100°C, temperatura que fue sensada simultáneamente con la termocupla de un multímetro para comprobar que el sistema se activara en el momento en que la temperatura descendiera por debajo de este valor.

La primera prueba simuló que la tea encendió en el primer intento, en la segunda se considera que la tea encendió en el siguiente intento, y la tercera supone que la tea no encendió y el sistema entra en modo bloqueo.

6.2. RESULTADOS DE SOFTWARE

Para el uso de módulos shield y otros dispositivos se utilizaron además de las librerías estándar, las librerías (Creative Commons) <LiquidCrystal.h> de Juan Hernandez, <Keypad.h> de Mark Stanley, <SD.h> basada en sdfatlib de William Greiman y "RTCLib.h" de Jean-Philippe Lang.

Figura 34. Fragmento del código del sistema de encendido automático de tea



```
SISTEMA_DE_ENCENDIDO_AUTOMATICO_DE_TEA | Arduino 1.0.2
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda

SISTEMA_DE_ENCENDIDO_AUTOMATICO_DE_TEA

#include <LiquidCrystal.h>
#include <Keypad.h>
#include <SD.h>
#include <Wire.h>
#include "RTCLib.h"

RTC_DS1307 RTC;

// initialize the library with the numbers of the interface pins
LiquidCrystal lcd(22,24,2,26,3,28);
int Termocupla= A0;
int sensorAmbiente = A8;
float Bit_termocupla;
int sample_Count;
float sample_avg;
float T_termocupla=0;
int Me = 47;//motor de elevación
int Ev = 49 ;//electroválvula
int Mi= 30;//motor del sistema de ignición
int Alarma= 32;// Alarma!
int Md= 34;// Motor en descenso
int Se = 38;//Sensor de elevación
int Sd = 40 ;//Sensor de descenso
const byte filas = 4;
const byte cols = 4;
const char keys[filas][cols]={{'1','2','3','A'},{'4','5','6','B'},{'7','8','9','C'},{'*','0','#','D'}}
byte pinesfilas[filas]={39,41,43,45};

Compilación terminada

Tamaño binario del Sketch: 28.000 bytes (de un máximo de 258.048 bytes)

47
Mega 2560 or Mega ADK on CDM11
```

Arduino 1.0.2

7. CONCLUSIONES

La plataforma de desarrollo de hardware y software libre Arduino satisface las necesidades de un sistema de encendido automático de tea, eficiente y de factible implementación en un campo petrolífero, permitiendo el funcionamiento continuo de la tea, siempre que las condiciones ambientales y el caudal de gas lo permitan. Además, la versatilidad y practicidad de esta plataforma permite su uso en otras aplicaciones de tipo industrial.

Con la implementación de este proyecto es posible reducir el riesgo de accidentes de los operarios durante el proceso de encendido de una tea, puesto que se limita la intervención humana y se elimina su exposición a elementos incendiarios.

Este proyecto comprueba que es posible construir de forma económica y eficiente, un dispositivo que representaría una elevada inversión para las empresas prestadoras de servicios petrolíferos, asimismo, se demuestra que es factible dar solución local a las necesidades de las empresas, sin necesidad de recurrir a la importación de equipos.

Debido a la ausencia de una locación adecuada, no fue posible efectuar las pruebas con gas, sin embargo se puede considerar el funcionamiento correcto del sistema y su confiabilidad para la aplicación en un campo petrolífero, garantizando una adecuada mezcla de gas, aire y oxígeno en el tubo de mezcla.

La automatización del proceso de encendido de la tea, permitiría reducir la duración de las emisiones de metano que ocurren cuando esta se encuentra apagada, debido a la disminución del tiempo de respuesta del sistema, en comparación con el encendido manual.

8. RECOMENDACIONES

Construir un techo o estructura donde se resguarde la caja de control y el motor del sistema de elevación, para prevenir que el agua oxide el chasis o que se filtre causando daños en los circuitos.

Disponer el cableado en canales y/o subterráneo para evitar tropiezos o enredos que causen accidentes.

Incorporar al sistema una alarma que indique una falla en el cableado de la termocupla utilizando otra de las características del AD595

Al instalar el sistema de encendido automático de tea se debe tener en cuenta que el diseño de la alimentación solar fotovoltaica, varía dependiendo de los días de autonomía requeridos, de la radiación y de las horas de pico solar del lugar de instalación. Reemplazando los valores en los cálculos efectuados para este proyecto se puede determinar la potencia de los paneles y la capacidad del banco de baterías necesarios para garantizar la autonomía al sistema.

El sistema puede ser programado empleando otras tarjetas de desarrollo como, Wiring, raspberry pi o pingüino.

BIBLIOGRAFÍA

BOYLESTAD, Robert L. y NASHELSKY, Louis. Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos. 8 ed. México. D.F.: Pearson Educación, 2003. 1040p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Trabajos escritos: presentación y referencias bibliográficas. Sexta actualización. Santa Fe de Bogotá D.C.: ICONTEC, 2008. 36p. NTC 1486.

----- Sexta actualización. Santa Fe de Bogotá D.C.: ICONTEC, 2008. 33p. NTC 5613.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Mapas de radiación solar global sobre una superficie plana. Escala 1:7.000.000. Bogotá D.C.: IDEAM, 2005. 13 mapas.

SEDRA, Adel S. y SMITH, Kenneth C. .Circuitos Microelectrónicos. 4 ed. México. D.F.: Oxford University Press, 2002. p. 353-380, 436-441.

FUENTES DE INFORMACIÓN ELECTRÓNICA

Páginas Web:

ARIAN Control & Instrumentación. Derechos reservados. 2013.
URL:[<http://www.arian.cl/downloads/nt-002>]

ECOPETROL S.A. [online]. Derechos reservados. 2013.
URL:[<http://www.ecopetrol.com.co/especiales/elpetroleoysumundo/produccion.htm>]

ECOPETROL. [online]. Todos los derechos reservados. 2013.
URL:[<http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?conID=37389&catID=223>].

FUNDACIÓN EROSKI. [online]. Todos los derechos reservados. 2013. URL:
[<http://en.wikipedia.org/wiki/Torque>].

FUNDACION WIKIMEDIA. [online]. Licencia Creative Commons Atribución
Compartir Igual 3.0. Última actualización 30 abril de 2013, a las 20:21.
URL:[<http://es.wikipedia.org/wiki/Termopar>]

FUNDACION WIKIMEDIA. [online]. Licencia Creative Commons Atribución
Compartir Igual 3.0. Última actualización 23 jul 2013, a las 04:29.
URL:[<http://es.wikipedia.org/wiki/Temperatura>]

FUNDACION WIKIMEDIA. [online]. Licencia Creative Commons Atribución
Compartir Igual 3.0. Última actualización 15 jul 2013, a las 22:33.
URL:[<http://es.wikipedia.org/wiki/Kelvin>]

FUNDACION WIKIMEDIA. [online]. Licencia Creative Commons Atribucion
Compartir Igual 3.0. Última actualización 10 de abril del 2013, a las 22:13.
URL:[http://es.wikipedia.org/wiki/Bucle_while].

FUNDACION WIKIMEDIA. [online]. Licencia Creative Commons Atribucion
Compartir Igual 3.0. Last modification 24 july 2013 at 17:22. URL:[
<http://en.wikipedia.org/wiki/Torque>].

FUNDACION WIKIMEDIA. [online].Licencia Creative Commons Atribución Compartir Igual 3.0. Última actualización 26 de mayo de 2013, a las 14:13. URL:[http://es.wikipedia.org/wiki/Punto_de_Ignici%C3%B3n].

GAS NATURAL FENOSA COLOMBIA. [online].Todos los derechos reservados.2013. URL:[<http://www.gasnaturalfenosa.com.co/co/inicio/hogar/el+gas+natural/1297102453941/que+es.html>].

GONZALO ÁVILA ALTERACH. [online].Licencia Creative Commons Atribución Compartir Igual 3.0. 2013 .URL: [<http://gزالoprgm.com.ar/puenteh/>].

METROGAS. [online].Todos los derechos reservados.2013. URL: [http://www.metrogas.cl/industria/asesoria_tecnica_1].

NATIONAL INSTRUMENTS CORPORATION. [online].Todos los derechos reservados.2012. URL: [<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/FBC1B7FFBCBAA0A1862573A70080D4BA>].

UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA. [online].Todos los derechos reservados.2010. URL: [<http://pis.unicauca.edu.co/moodle/file.php/61/capitulo%205/html/potencia%20electrica.htm>].

WIFGT. HAT LTD. [online]. Derechos reservados. Última actualización 08 de febrero de 2013. URL: [<http://www.metric-conversions.org/es/temperatura/tabla-de-conversion-de-celsius-a-kelvin.htm>]

Programas:

Profesional Labcenter Electronics. Programa de diseño electrónico Proteus 7.7. 2009.

Protel Technology. Programa de simulación electrónico CircuitMaker V6.2c PRO. 1999.

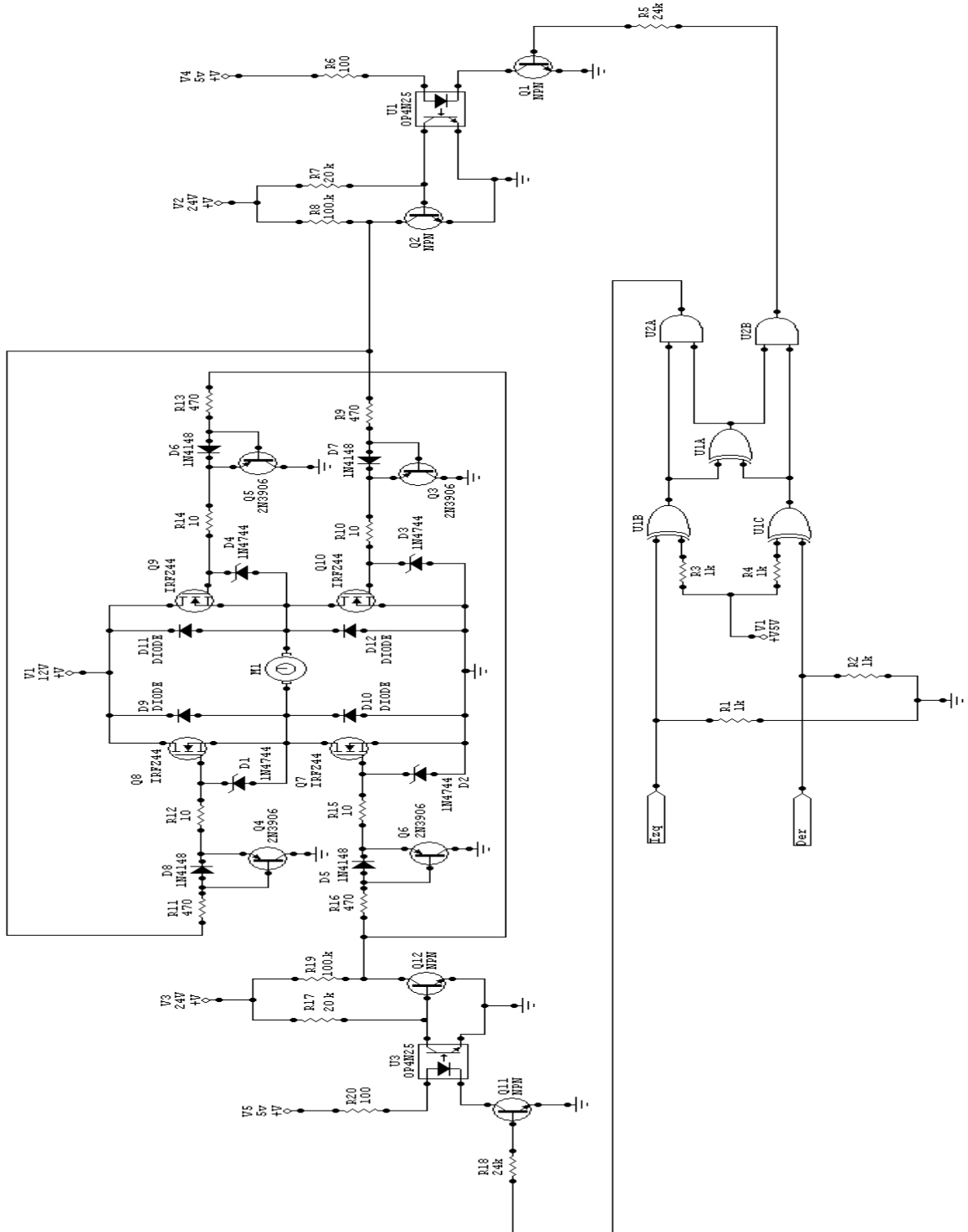
Microsoft Corporation. Suit de ofimática Microsoft Office Profesional 2007. 2007.

Profesional Labcenter Electronics. Programa de diseño electrónico Proteus 7.7. 2009.

Arduino Team. Programa de programación y compilación de lenguaje arduino Arduino 1.0.2 (32 bits).2012

ANEXOS

ANEXO A. Circuito motor de elevación



CircuitMaker PRO 6.2C

ANEXO B. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO SISTEMA DE ENCENDIDO AUTOMÁTICO DE TEA

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ICM S.A.S

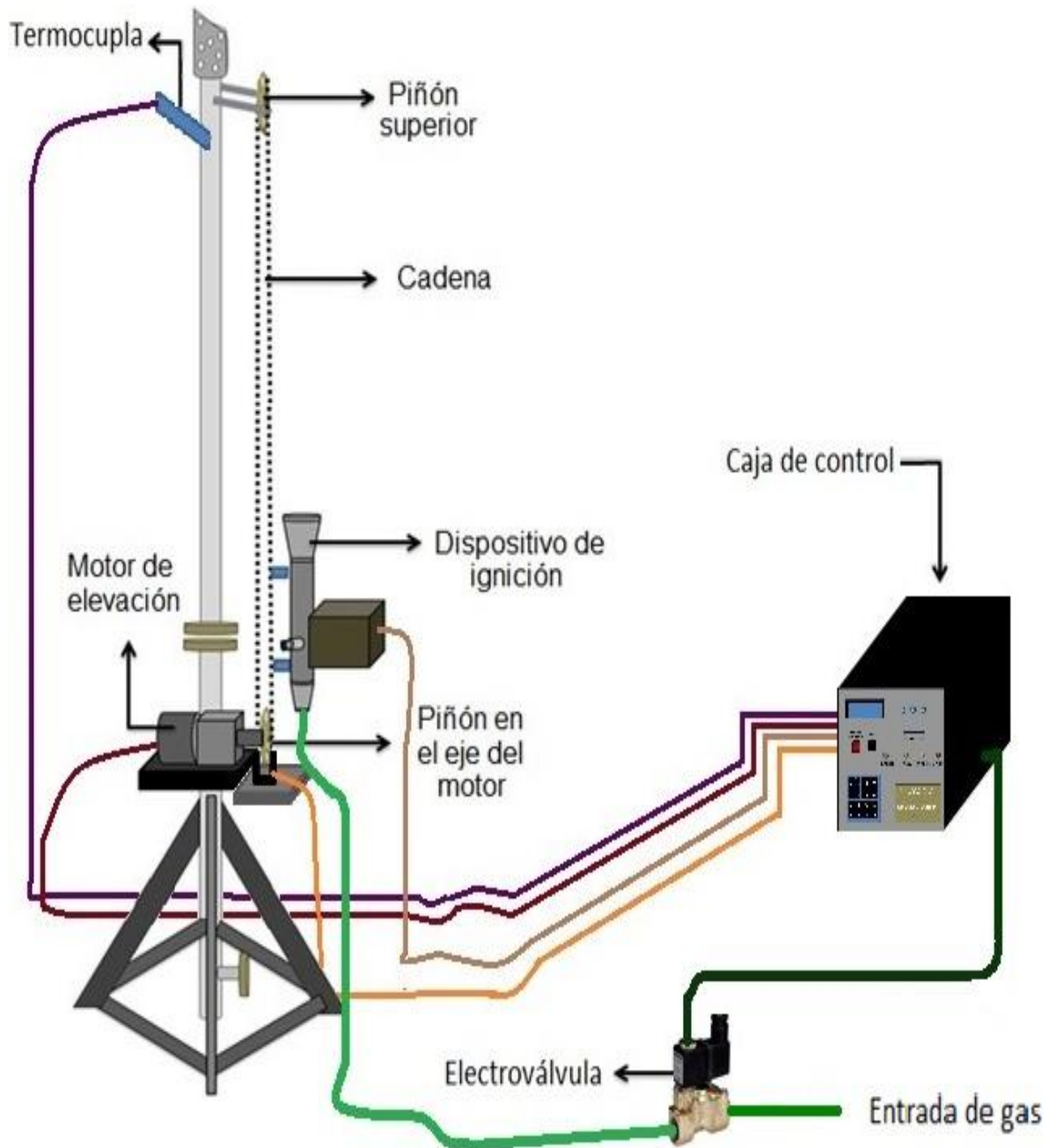


ÍNDICE

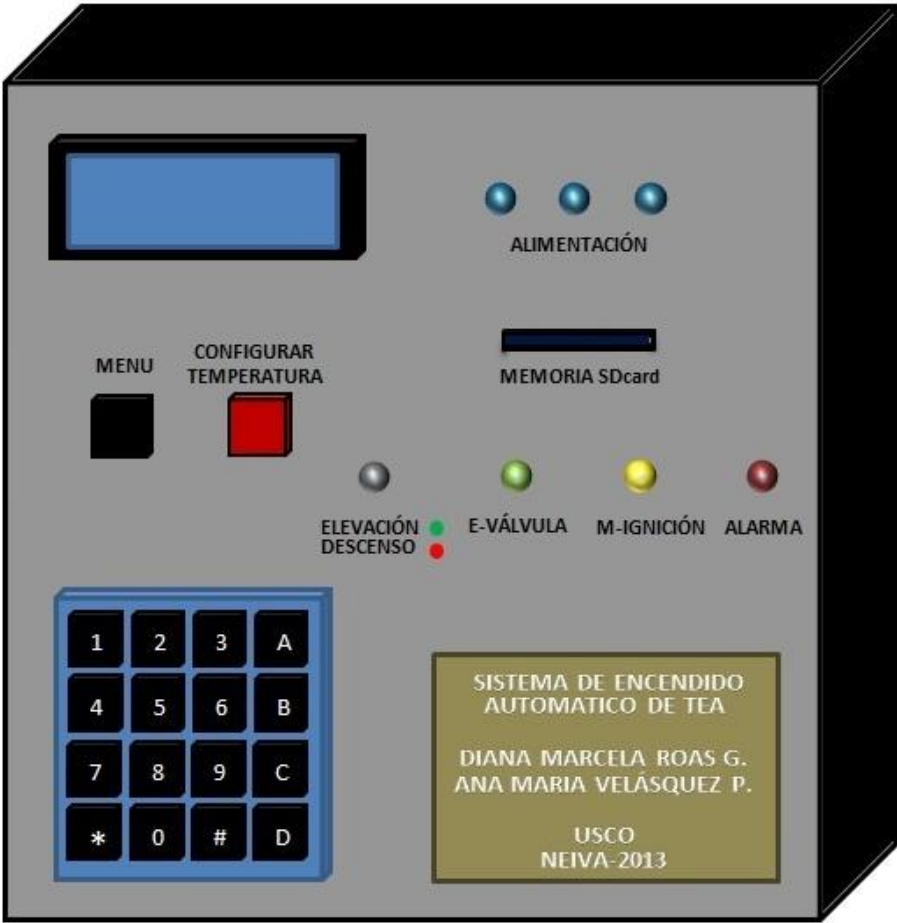
	pág
1. APARIENCIA FÍSICA Y COMPONENTES	3
2. OPERACIÓN DEL SISTEMA	5
3. INDICADORES LED	6
4. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA	7
5. RECOMENDACIONES	8

1. APARIENCIA FÍSICA Y COMPONENTES

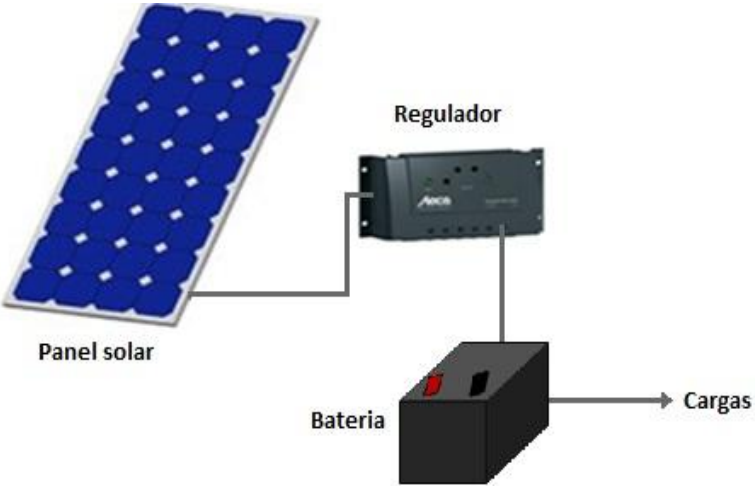
Sistema de encendido automático de tea



Caja de control



Alimentación fotovoltaica



2. OPERACIÓN DEL SISTEMA

1. **Encender el sistema:** Activar el interruptor de encendido. En la pantalla de la caja de control se visualizará “sistema encendido”, y posteriormente “Tea ON” con la temperatura actual de la tea; el sistema inicia por defecto considerando que la tea está encendida.

2. **Configurar temperatura de Comparación.** Oprima el botón “CONFIGURAR TEMPERATURA” para establecer la temperatura a partir de la cual se considera que la tea está encendida. Este debe ser un valor entero de cuatro dígitos entre la temperatura ambiente y 1000°C. Ejemplo: para ingresar 70°C digitar en el teclado 0070; si desea cerciorarse del valor mínimo a ingresar (temperatura ambiente) antes de este paso, presione el botón “MENU” y digite la opción A en el teclado para visualizarlo.

Paso seguido, el sistema preguntará si es el valor deseado a ingresar; sí el dígito es correcto presione “*”, en caso contrario presione “#”. Cuando se ingresa un valor no válido (fuera del rango o con caracteres distintos a los dígitos entre 0 y 9), se mostrará en la pantalla el mensaje “Ingreso Anulado Intente otra vez”, inmediatamente podrá digitar un nuevo número. A continuación el sistema iniciará su funcionamiento.

3. **Almacenamiento en SD Card.** Antes de encender el sistema asegúrese que la SD Card se encuentre en la ranura “memoria SD Card” de la caja de control. La memoria debe contener un archivo tipo txt (block de notas) nombrado “DatosTea”, de lo contrario el sistema no guardará la fecha y la hora en que se apague la tea. La memoria puede ser extraída en cualquier instante, sin afectar el funcionamiento del sistema. Para reanudar el almacenamiento de estos datos se debe ingresar la memoria y reiniciar el equipo.

4. Otras opciones de MENU:

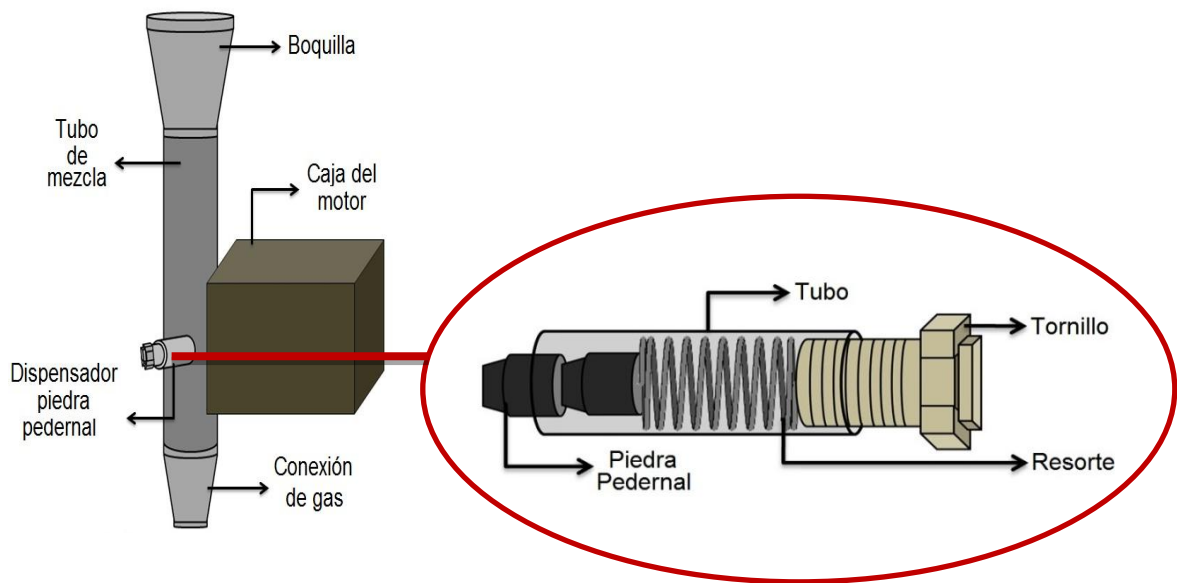
- Presionando la tecla “B” se podrá visualizar la actual temperatura de comparación.
- Presionando la tecla “C” se enciende la alarma por 1 minuto.
- Presionando la tecla “D” se podrá visualizar el nombre de las autoras del proyecto.

3. INDICADORES LED

Color del LED	Nombre	Descripción
VERDE Y ROJO (led dual)	Elevación Descenso	En verde indica que el dispositivo de ignición está siendo elevado y en rojo indica que el dispositivo de ignición está descendiendo.
VERDE	E-válvula	Indica que la electroválvula permite el paso de gas.
AMARILLO	M. Ignición	Indica que el motor de ignición se encuentra activo.
ROJO	Alarma	Indica que por alguna razón externa la tea no pudo ser encendida, o que se activó la alarma a voluntad.
AZUL	Alimentación	La iluminación simultánea de los tres led indica que el sistema se encuentra correctamente energizado.

4. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

1. Dispositivo de ignición y dispensador de piedra pedernal: El roce de la piedra pedernal con el rodillo estriado dentro del tubo de mezcla, produce la chispa que origina la llama y que se propaga a la tea para encenderla. Este rozamiento va desgastando la piedra, por lo cual se requiere reemplazarla periódicamente. En el dispensador se pueden introducir hasta tres piedras consecutivamente; al substituir estas piedras asegúrese que el tornillo quede completamente enroscado sin el uso de fuerza excesiva.



2. Cadena y engranajes: Se debe mantener engrasada la cadena y los piñones para no forzar el sistema de elevación del equipo.

5. RECOMENDACIONES

Disponer el cableado en canales y/o subterráneo para evitar tropiezos o enredos que causen accidentes.

Escoger adecuadamente la temperatura de comparación para garantizar la rápida respuesta del sistema