



**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TRÁFICO DE  
MONTACARGAS PARA LA REDUCCIÓN DE ACCIDENTES EN PLANTA DE  
DISTRUBICIÓN DE BAVARIA S.A.**

**WILLIAM RICARDO RUBIO SANABRIA  
CÓDIGO: 161002331**

**UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS  
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
VILLAVICENCIO, COLOMBIA  
2017**

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TRÁFICO DE  
MONTACARGAS PARA LA REDUCCIÓN DE ACCIDENTES EN PLANTA DE  
DISTRIBUCIÓN DE BAVARIA S.A.

WILLIAM RICARDO RUBIO SANABRIA

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

Director:  
Ing. Javier Andrés Vargas Guativa, M.Sc.

UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS  
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
VILLAVICENCIO, COLOMBIA  
2017

**PÁGINA DE ACEPTACIÓN**

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

José Alexander Cucaita Gómez  
Jurado

**LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Excesos de velocidad entre 15-04 y 30-04 .....	31
---	----

## TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Geolocalización de la planta.....	14
Ilustración 2. Segmento de planta de producción de Bavaria Duitama .....	15
Ilustración 3. Esquemático microcontrolador Atmel Atmega328P.(Atmel, 2016) .....	19
Ilustración 4. Empaquetados LM7805.(Semiconductor, 2014).....	20
Ilustración 5. Configuración recomendada para LM1117. (Instruments, LM1117 800mA Low-Dropout Linear Regulator, 2016) .....	22
Ilustración 6. Diagrama de bloques de un transmisor.....	25
Ilustración 7. Diagrama de bloques de un Receptor. ....	26
Ilustración 8. Refracción RF. Tomado de <a href="https://es.slideshare.net/atridmolina19/propagacin-reflexin-difraccin-y-refraccin-4-46072023">https://es.slideshare.net/atridmolina19/propagacin-reflexin-difraccin-y-refraccin-4-46072023</a> .....	28
Ilustración 9. Entorno de trabajo módulo ISIS.....	29
Ilustración 10. Letrero de prevención.....	31
Ilustración 11. Gráfico de comparación excesos de velocidad y su cantidad.....	32
Ilustración 12. Vista posterior frontal de montacargas. ....	32
Ilustración 13. Vista anterior frontal de montacargas. ....	33
Ilustración 14.Espejo retrovisor.....	34
Ilustración 15. Almacenamiento de producto. ....	35
Ilustración 16. Espectro RF (científica, 2012). ....	36
Ilustración 17. Circuito esquemático. Proteus 8 Profesional (Labcenter Electronics: Proteus PCB Design & Simulation software, s.f.).....	36
Ilustración 18. PCB de prueba. Proteus 8 Profesional (Labcenter Electronics: Proteus PCB Design & Simulation software, s.f.).....	37
Ilustración 19. Vista PCB 3D. Proteus 8 Profesional (Labcenter Electronics: Proteus PCB Design & Simulation software, s.f.).....	37
Ilustración 20. Diagrama diseño alimentación eléctrica de microcontrolador. ....	38
Ilustración 21. Diagrama regulación y comunicación microcontrolador y antena. ....	40
Ilustración 22. Diagrama de flujo de microcontrolador. ....	40
Ilustración 23. Diagrama de activación de indicador lumínico.....	41
Ilustración 24. Luz indicadora de proximidad de montacargas. ....	41
Ilustración 25. Escenario1. Montacargas sin proximidad. ....	42
Ilustración 26. Escenario 2. Montacargas en proximidad.....	42
Ilustración 27. Dispositivo de prueba instalado en montacargas. ....	43

## Agradecimientos

Por un momento dejemos de darle toda la importancia a las cosas a las que solamente existen en el momento que le prestamos atención, no hay que darle una explicación a lo material y dejemos que las cosas que van y vienen hagan lo mejor que saben hacer, demostrarnos que lo que queda luego de esto es lo realmente importante. Yo me quedo con las cosas que permanecen, solo tengo que ver para atrás y luego a mi lado y ver que hay en común, eso es lo único que importa para mí.

Con lo anterior le quiero agradecer este proyecto a mis padres, mi hermana y mis abuelos que me han acompañado emocionalmente durante toda mi vida.

A el hermano mayor de mi madre y su hermosa familia, que, de no ser por ellos, sus consejos, su desinterés por lo material, su acompañamiento, por sus lecciones de vidas transmitidas hacia mí, y por su calidad humana, este proyecto se hubiera tornado arduo y dificultoso y pienso, no hubiera podido encontrar la solución.

No puedo dejar de nombrar a mi director, que, agradeciendo su acompañamiento, tiempo y dedicación, le quiero exponer mi admiración y respeto, por sus conocimientos, su trayectoria y trabajo.

$$y = \prod_{n=0}^{\infty} W(\emptyset) \cap \left[ \sum_{m=0}^{\infty} x(m - \infty) \right]$$

Nunca dejes de ser feliz que nunca dejarás de sorprenderte.

## RESUMEN

El tema de los sistemas de seguridad para la prevención de accidentes específicamente en las plantas de producción en todo del mundo, es un foco de investigación desde no hace mucho tiempo, debido a que hasta hace poco se vienen implementando normas de seguridad que protegen los operadores de maquinaria de carga de mediana y de gran capacidad.

La investigación hecha por las compañías interesadas, han llevado a optar por crear sistemas de dispositivos electrónicos autónomos encargados de reaccionar ante los escenarios de riesgo y algunos comportamientos y operaciones que podrían convertir una operación sencilla, en una situación de alto riesgo.

Estos dispositivos cuentan con la ventaja de que quitan un peso bastante grande al operador de la máquina, y permite que se enfoque en cumplir su labor de una manera óptima y cumpliendo con las expectativas de la compañía.

La creación de estos sistemas y dispositivos se crean la mayor cantidad de veces desde la observación del comportamiento de cada planta, ya que se pueden presentar variaciones en algunas variables como las distancias, el clima, la cantidad de máquinas, entre otras, que harían que en ciertos escenarios y lugares, no tenga la misma efectividad que se pretende basados en el funcionamiento de otras plantas.

Es llamativo por parte de las personas interesadas en estos sistemas, que no exigen requerimientos al momento de ser instalados si hablamos del espectro de máquinas en las que se puede implementar, y más allá de eso, su autonomía lleva a generar gran aceptación.

En este caso nos hemos basado en los sensores inalámbricos, más específicamente en la tecnología UHF, porque permiten aprovechar las características de esta parte del espectro de la radiofrecuencia, y no depender del punto de vista entre los dispositivos para que cumplan su función.

Palabras clave: investigación, seguridad, sistemas, accidentes, prevención, radiofrecuencia, tecnología.

## ABSTRACT

The theme of safety systems for accident prevention is specifically in production plants around the world, has been a focus of research for a long time, because until recently have been implementing safety standards that protect the operators of medium and large capacity loaders.

The research carried out by the companies concerned have been carried out by creating autonomous electronic device systems responsible for reacting to the risk scenarios and some behaviors and operations that become a simple operation in a high risk situation.

These devices have the advantage that they take away a fairly large weight from the operator of the machine, and allow them to focus on accomplishing their work in an optimal way and fulfilling the expectations of the company.

The creation of these systems and devices are created the most times of the observation of the behavior of each plant, since they can present variations in some variables like the distances, the climate, the quantity of machines, among others, that would make in certain scenarios and places, do not have the same effectiveness that was based on the operation of other plants.

It is striking by people interested in these systems, which do not require demanding when they are installed and we talk about the spectrum of the machines on which it can implement, and beyond that, its autonomy is widely accepted.

In this case we have not based on wireless sensors, more specifically on UHF technology, because we take advantage of the features of this part of the radiofrequency spectrum, and no dependent on the point of view between the devices to fulfill their function.

Key words: research, safety, systems, accidents, prevention, radiofrequency, technology.

## TABLA DE CONTENIDO

1. Objetivo general .....	11
1.1. Objetivos específicos.....	11
2. Marco Referencial .....	12
2.1. Descripción del problema .....	12
2.2. Justificación.....	13
2.3. Marco contextual .....	14
2.4. Estado del arte .....	16
2.5. Marco teórico.....	17
3. Metodología.....	30
4. Resumen de actividades .....	30
5. Resultados obtenidos .....	44
6. Conclusiones .....	46
7. Recomendaciones.....	47
Bibliografía.....	48
Anexo A.....	54
Anexo B.....	56



## 1. **Objetivo general**

Diseñar e implementar un sistema de control de tráfico de montacargas en la planta de Bavaria ubicada en Duitama, contratista de la empresa SOFTECOM SAS.

### 1.1. **Objetivos específicos**

2.1.1 Caracterizar el comportamiento del tráfico de montacargas que se movilizan dentro de la planta de distribución de carga de Bavaria ubicada en Duitama-Boyacá.

2.1.2 Diseñar el sistema electrónico que va a controlar el tráfico de los montacargas.

2.1.3 Seleccionar la tecnología que presente mejor usabilidad y eficiencia para el sistema de monitoreo y control del tráfico.

2.1.4 Implementar el sistema electrónico de monitoreo y control del tráfico de los montacargas de la planta.

2.1.5 Validar el funcionamiento del sistema de monitoreo y control de tráfico de los montacargas en la planta.

## 2. Marco Referencial

### 2.1. Descripción del problema

Actualmente, la planta de distribución de carga de Bavaria ubicada en Duitama, cuenta con ocho montacargas que se encargan de sacar de la planta, miles de unidades de productos por hora. Los montacargas se mueven alrededor de la planta en todas direcciones y en varias ocasiones superando el máximo de la velocidad permitida por los supervisores de seguridad (15km/h) (Onste Safety & Health Consultation Program, 2013), esto debido a que se debe cumplir metas establecidas por la empresa.

Los montacargas cuentan con un par de retrovisores que se ubican a ambos lados de la parte frontal del móvil, y debido a que el montacargas cuenta con dos brazos hidráulicos que tapan la mayor parte de la vista hacia el frente del mismo, y dificulta la vista del operador. Por la protección del conductor, en la parte superior se encuentra un techo reforzado con una malla metálica, que tapa la visibilidad del conductor hacia la parte superior en cualquier escenario. Es importante tener en cuenta que si en la operación, la carga supera el punto de visión.

La planta de distribución cuenta con un sistema de supervisión y control de tráfico de montacargas muy deficiente, esto permite que se presenten colisiones entre los móviles, que la mayor parte del tiempo se encuentra con carga. En cada cruce, a una distancia aproximada de 5 metros del suelo, se encuentran unos espejos y un letrero de precaución que cuelgan del techo, pero por la poca visibilidad que tienen los conductores dentro de los móviles no pueden ser vistos. En la visita a la empresa, en una hora se presentaron 5 ocasiones de alto riesgo de choque entre montacargas.

Se han presentado ocasiones en las que personas que pasan caminando por la planta, han estado muy cerca de ser atropellados por los montacargas, lo que representaría un error fatal ya que no se cuenta con un sistema que pueda prevenir estos casos, y en tal caso de ocurrir, llevaría a consecuencias que perjudicarían el recurso humano de la planta y la producción de la misma.

## 2.2. Justificación

Tras la visita de la planta de distribución de carga de Bavaria ubicada en la ciudad de Duitama-Boyacá por parte de la empresa SOFTECOM SAS para ver la eficiencia de la tecnología que se encargada de hace el control de tráfico de los 8 montacargas que mueven el producto de la empresa a los camiones de distribución de la planta, se pudo notar que la tecnología actual implementada para dicho objetivo, es muy ineficiente en el hecho de que con el actual sistema de control existe un alto riesgo de colisión entre los montacargas y con personas con consecuencias en pérdidas materiales y económicas.

Existen puntos críticos en la planta donde además de moverse montacargas a altas velocidades, no se detienen en los cruces para comprobar que algún otro montacargas viene en sentido contrario o transversal, para esto la planta les instala unos espejos retrovisores a una altura inaccesible para la vista de los conductores.

Debido a que se presentaron accidentes entre montacargas y en otras ocasiones resultaron involucradas personas de la planta que desafortunadamente iban pasando por el sitio del incidente. Bavaria ha tratado de por medio de bonificaciones salariales para los conductores, motivarlos a respetar las normas de seguridad y cuidar de la seguridad de los montacargas y en especial la de cada uno.

Bavaria contrata a SOFTECOM SAS para darle una solución a este problema al que por su propia cuenta no han podido darle solución por medio del talento humano. Tanto Bavaria como SOFTECOM están seguros que la mejor solución es un sistema electrónico.

Para cumplir este objetivo, SOFTECOM SAS contacta a William Ricardo Rubio Sanabria, estudiante de Ingeniería Electrónica de La universidad de los Llanos, para que realice el proyecto como parte de su opción de grado en la modalidad de pasantía.

### 2.3. Marco contextual

SOFTECOM es una empresa integradora de sistemas, que se especializa en ofrecer soluciones de seguridad, monitoreo, telemetría y prevención de accidentes para montacargas, equipos de construcción y maquinaria pesada. (Softecom, 2017).

El proyecto se ubica en la planta de distribución de carga de Bavaria ubicada en Duitama-Boyacá, a 3 horas de la capital del país, Bogotá DC. Para movilizar la carga, la planta cuenta con 8 montacargas para mover la producción eficientemente durante las 24 horas del día, los 7 días de la semana.

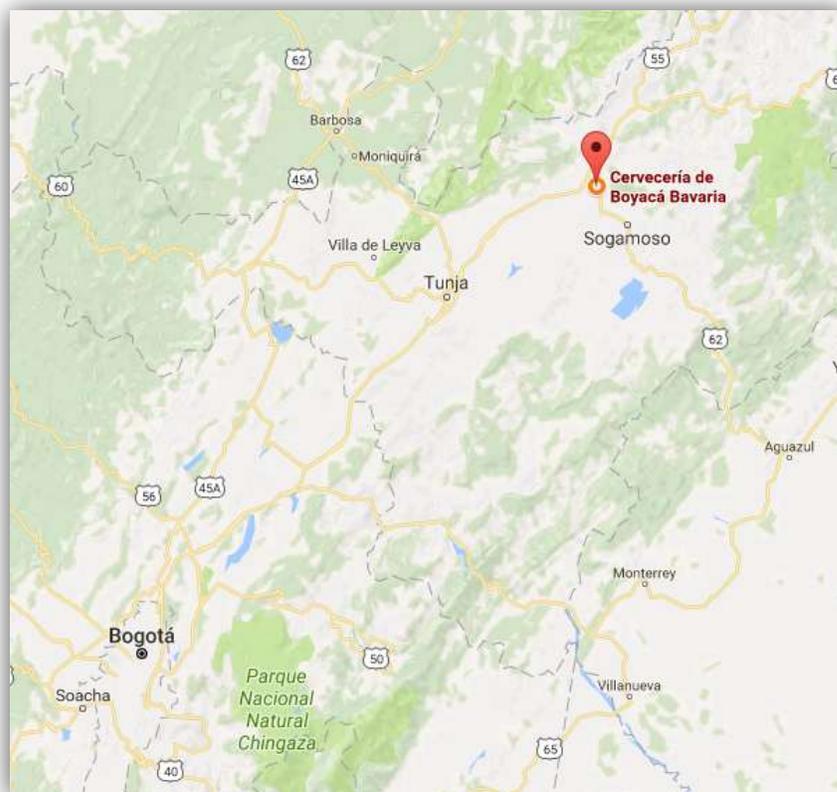


Ilustración 1. Geo localización de la planta.



Ilustración 2. Segmento de planta de producción de Bavaria Duitama

Los ya mencionados montacargas de la planta se mueven a lo largo de 18000m<sup>2</sup> donde la mayor parte está conformada por canastas de los productos y queda poco espacio para desplazarse. Las metas de producción de la planta requieren un alto nivel de eficiencia en la producción y distribución, lo que lleva a que los montacargas se muevan a velocidades que en ocasiones superan lo sugerido para tener un nivel de riesgo de accidentalidad muy bajo.

La investigación acerca del monitoreo, supervisión y control del tránsito ha sido de interés por muchos años, teniendo su comienzo en los 80's, ha sido tan importante que se creó una rama de la ingeniería que se dedique a este propósito. Gran parte de los esfuerzos que se han dedicado al monitoreo, supervisión y control por parte de los ingenieros de tránsito, ha sido a el mejoramiento de las técnicas de supervisión por medio de procesamiento de imágenes, que dentro de lo estudiado, es la mejor herramienta para tener una visual en tiempo real de la situación que se desea estudiar y sobre la cual se quiere hacer un control (Sc., Sc., & D., 2010).

## 2.4. Estado del arte

En el mercado de productos y sistemas para el cuidado de la operación de montacargas existen gran cantidad de dispositivos encargados de la seguridad del personal y de los montacargas, como por ejemplo sensores indicadores de peso para que puedan cuidar la integridad del montacargas, cinturones de seguridad con testigos indicadores e inhabilitadores del sistema hidráulico, líneas laser demarcadoras de zona de trabajo para los montacargas y las famosas “Blue Point”. También se encontró un producto que emite una alerta lumínica y auditiva en un punto crítico de tránsito o en el punto que se desee, de tal manera que el transeúnte que esté pasando cerca del lugar cuando un montacargas se esté aproximando, tenga cuidado y se prevenga de un accidente. KeyWarner. (Keytroller, 2017).

Existe también un producto para dar información al conductor de la cercanía de personas u objetos en la operación de reversa. Lo hace mediante un sensor laser que crea una escena 3D que puede distinguir la distancia, altura y anchor de los objetos cercanos a él para evitar colisiones. (SICK, s.f.)

Todos estos productos están creados bajo el criterio de que las plantas tienen unas normas básicas de operación, como no exceder la velocidad límite, detenerse en cada cruce para evitar colisiones, usar el cinturón en todo momento, pero por lo visto en la planta, la rigurosidad de la operación y la falta de compromiso de los encargados de la seguridad en el sitio de trabajo al igual que los mismos conductores, y también el hecho de que hay transeúntes eventualmente por las zonas de tránsito, genera que el KeyWarner no tenga la eficiencia con la que se promociona en la página web del distribuidor.

## 2.5. Marco teórico

### Atmel 8 bits AVR Microcontrolador Atmega328P

Este un microcontrolador bastante conocido por su fácil amplia gamas de lenguajes de programación, entre los cuales se encuentra el Lenguaje Arduino(Software, 2010) que es bastante conocido y ha sido bastante usado en el desarrollo de otros proyectos.

Según Atmel, el Atmel® picoPower® ATmega328 / P es un microcontrolador CMOS de baja potencia de 8 bits basado en la arquitectura AVR® RISC mejorada ejecutando potentes instrucciones en un solo ciclo de reloj, el ATmega328/P alcanza rendimientos cercanos a 1MIPS por MHz. Esto permite al diseñador del sistema optimizar el dispositivo para el consumo de energía en comparación con la velocidad de procesamiento.

#### Características

Alto desempeño, es un microcontrolador de 8 bits de bajo poder de la familia Atmel®AVR®.

- Arquitectura RISC avanzada.
- 131 instrucciones
- La más sencilla ejecución de ciclos de reloj
- Operación estática total
- Hasta 20 MIPS
- Multiplicador de dos ciclos internos 2
- Alta duración en segmentos de memoria no volátil

- 32KBytes de memoria flash auto-programable
- Memoria
  - 1KBytes EEPROM
  - 2KBytes SRAM interna
- Ciclos de Lectura/Escritura: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
- Retención de datos: 20 años a 85°C/100 años at 25°C(1)

#### Características ambientales

- 6 canales de ADC de 10 bits en PDIP empaquetado
- Dos interfaces SPI Serial Maestro/Esclavo
- Un USART Serial Programable
- Una interfaz serial de dos cables de 1Byte
- Un Watchdog Timer programable con Oscilador separado
- Un comparador analógico
- Interrupción y Wake-up en cambio de Pin

#### Características especiales del microcontrolador

- Oscilador interno calibrado
- Interrupciones internas y externas
- Seis modos de sleep: Idle, Reducción de ruido de ADC, Salva poder, Bajo poder, Standby, y Standby extendido.
- I/O y empaquetados
- 23 I/O Líneas programables

#### Voltaje de operación:

- 1.8 - 5.5V

Rango de temperatura:

- -40°C a 105°C

Grados de velocidad:

- 0 - 4MHz @ 1.8 - 5.5V
- 0 - 10MHz @ 2.7 - 5.5V
- 0 - 20MHz @ 4.5 - 5.5V

Poder de consumo a 1MHz, 1.8V, 25°C

- Modo activo: 0.2mA
- Modo de descanso: 0.1µA
- Modo de guardado: 0.75µA (Incluyendo 32kHz RTC)

(Atmel, 2016)

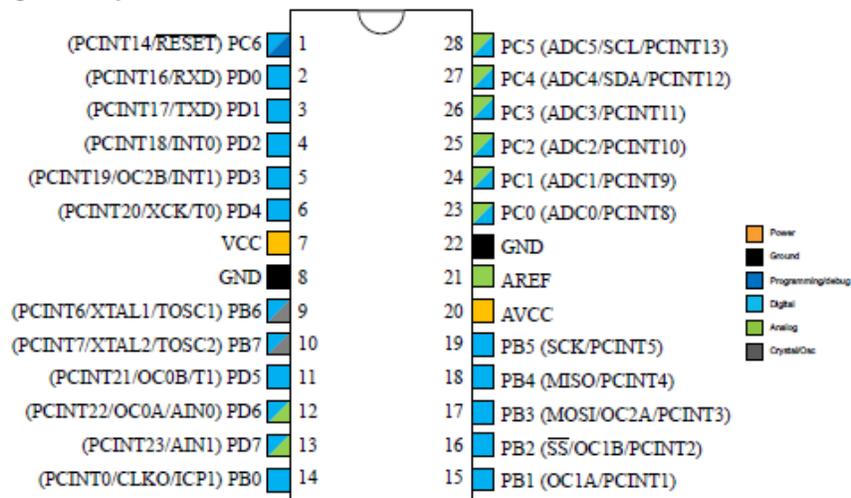


Ilustración 3. Esquemático microcontrolador Atmel Atmega328P.(Atmel, 2016)

## Regulador lineal de voltaje positivo LM7805

Esta serie de reguladores de tensión de circuito integrado de voltaje fijo está diseñada para una amplia gama de aplicaciones. Estas aplicaciones incluyen la regulación en la tarjeta para la eliminación de los problemas de ruido y distribución asociados con regulación de punto único. Cada uno de estos reguladores puede suministrar hasta 1,5A de corriente de salida. La limitación interna de corriente y las características de apagado térmico de estos reguladores esencialmente los hacen inmunes a la sobrecarga.

Además de su uso como reguladores de tensión fija, estos dispositivos pueden utilizarse con componentes externos para obtener tensiones y corrientes de salida ajustables, y también se puede utilizar como elemento de paso de potencia en la regulación de precisión.(Semiconductor, 2014).

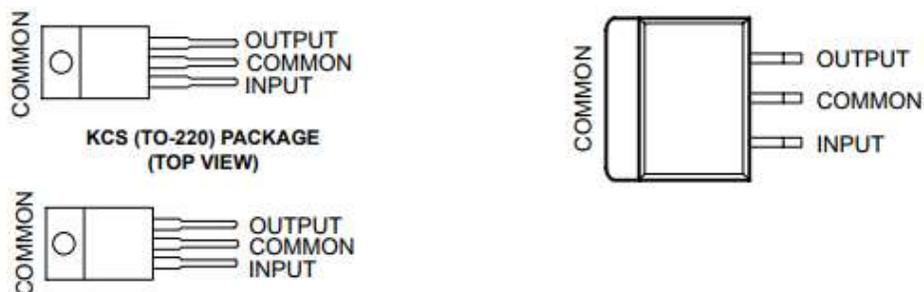


Ilustración 4. Empaquetados LM7805.(Semiconductor, 2014)

## LM1117 800mA Low Dropout Linear Regulator

Es un regulador lineal con un muy bajo nivel de ruido, genera la suficiente corriente para el módulo RF y aunque es ajustable, sin alguna configuración de resistencias, mantiene en su salida un voltaje constante de 3.3V exactos para la aplicación. (Instruments, LM1117 800mA Low-Dropout Linear Regulator, 2016).

Características

- Disponible en 1.8V 2.5V 3.3V 5V y Versión Ajustable
- Paquetes de ahorro de espacio SOT-223 y WSON
- Limitación de corriente y protección térmica
- Corriente de salida 800mA
- Rango de temperatura
  - LM1117: 0° a 125°C
  - LM1117I: -40°C a 125°C

### Aplicaciones

- Post regulador para conmutación de convertidor DC-DC
- Reguladores lineales de alta eficiencia
- Cargadores de baterías
- Instrumentación portátil
- Regulador de terminación SCSI activo

### Descripción

- El LM1117 es un regulador de voltaje de baja caída con una caída de 1.2V a 800mA de corriente de carga.
- El LM1117 está disponible en una versión ajustable, que puede ajustar el voltaje de salida de 1.25 a 13.8V con solamente dos resistencias externas. Además, está disponible en cinco tensiones fijas, 1.8V, 2.5V, 3.3V y 5V.
- El LM1117 ofrece limitación de corriente y apagado térmico. Su circuito incluye una referencia de bandgap recortada Zener para asegurar la precisión del voltaje de salida dentro de + - 1%.
- Se requiere un mínimo de 10uF de condensador de tantalio en la salida para mejorar la respuesta transitoria y la estabilidad.

(Instruments, LM1117 800mA Low-Dropout Linear Regulator, 2016)

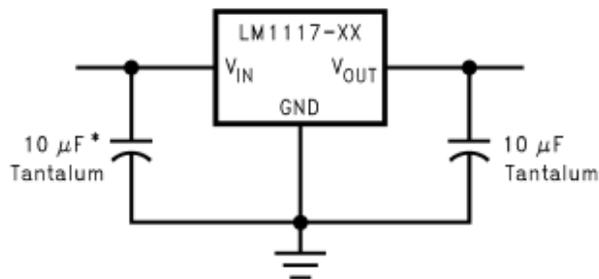


Ilustración 5. Configuración recomendada para LM1117. (Instruments, LM1117 800mA Low-Dropout Linear Regulator, 2016)

### **nRF24L01 Transceptor de 2.4GHz**

Es una antena RF digital transceptora de 2.4GHz con multi-bandas de transmisión y potencia regulable mediante programación y compatible con cualquier tipo de microcontrolador que le garantice 3.3V de alimentación constante. Debido a sus cualidades de transmisión y recepción casi que simultáneamente, y lo anteriormente descrito, tiene una gran cantidad de aplicaciones que van desde control remoto de juguetes, hasta transmisión de información extraída de sensores para su enlace en redes de transmisión de datos mediante diferentes topologías de redes. (NORDIC SEMICONDUCTOR).

El nRF24L01 es un solo transceptor de la viruta de 2.4GHz con un motor incorporado del protocolo de la banda de base, conveniente para las aplicaciones sin hilos del ultra bajo poder. El nRF24L01 está diseñado para funcionar en la banda de frecuencias ISM en todo el mundo a 2.400-2.4835GHz.

El diseño de un sistema de radio con el nRF24L01, simplemente necesita una MCU y unos componentes externos pasivos.

#### Características principales

- Operación mundial de la banda ISM de 2.4GHz
- 250Kbps, 1Mbps y 2Mbps en tarifas de datos de aire

- Funcionamiento de muy baja potencia
- 11.3mA TX a 0dBm de potencia de salida
- 13.5mA RX a 2Mbps de velocidad de datos de aire
- 900nA en desconexión
- 26uA en standby-l
- Regulador de voltaje de chip
- Rango de suministro de 1,9 a 3,6 V
- ShockBurst mejorado
- Manejo automático de paquetes
- Manejo automático de transacciones de paquetes
- 6 canales de datos MultiCeiver
- Compatibilidad con el nRF24L01
- Compatible con aire en 250Kbps y 1Mbps con nRF2401A, nRF2402, nRF24E1 y nRF24E2
- BOM de bajo costo
- + -60ppm 16MHz de cristal
- Entradas tolerantes 5V
- Paquete compacto de 20 clavijas 4x4mm QFN

#### Aplicaciones

- Periféricos de PC inalámbricos
- Ratón, teclados y controles remotos
- 3 en 1 paquetes de escritorio
- Controles remotos avanzados de Media Center
- Teléfonos VoIP
- Controladores de juegos
- Relojes deportivos y sensores
- Mandos a distancia RF para electrónica de consumo
- Automatización doméstica y comercial

- Red de sensores de muy baja potencia
- RFID activo
- Sistemas de seguimiento de activos
- Juguetes

(NORDIC SEMICONDUCTOR)

## **Transmisión y recepción RF**

### Transmisión

Se lleva a cabo por medio de un transmisor, que como su nombre lo indica, transmite información. Este transmisor realiza su función mediante ondas electromagnéticas a distancias esperadas a través de la atmosfera al nivel de radiofrecuencia, estas frecuencias están en el rango desde 3Hz hasta los 300GHz.

El transmisor dentro de los sistemas de las comunicaciones electrónicas cumple ciertas funciones:

- Generar la señal portadora
- Modular la señal portadora con el mensaje
- Amplificar la señal moduladora con el mensaje hasta el nivel deseado para lograr el alcance deseado con el receptor
- Efectuar filtrado de la señal modulada para después ser radiada por la antena

(Camargo)

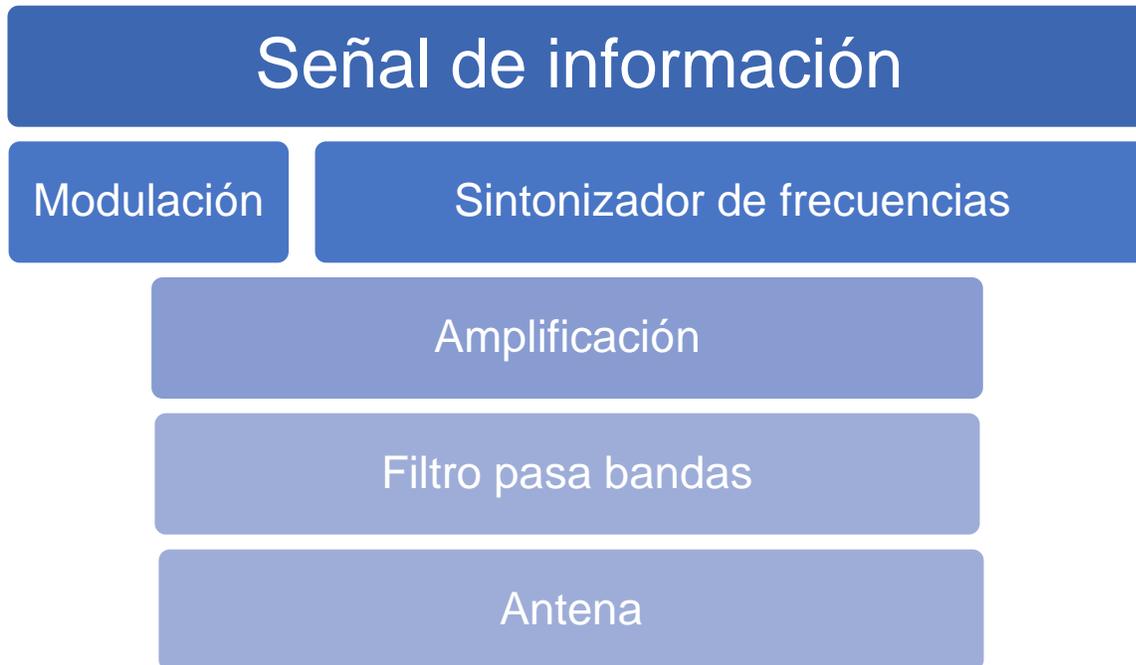


Ilustración 6. Diagrama de bloques de un transmisor.

Existen dos tipos de transmisores, ambos encajan con el esquema mostrado en la figura anterior.

- Transmisor Homodino o de modulación directa
- Transmisor Heterodino

Los Homodinos se encargan de filtrar y modular sobre una frecuencia portadora, es típico de los transmisores que operan con portadora de baja frecuencia y específicamente para modulaciones de amplitud AM.

Los Heterodinos son aquellos que efectúan la modulación sobre una frecuencia diferente a la que se va a radiar por la antena, por esto mismo tiene ventajas sobre el otro tipo de transmisores.



Ilustración 7. Diagrama de bloques de un Receptor.

## Recepción

Al igual que el transmisor, hay dos tipos de receptores, Homodino y Heterodino. Dentro de los Homodinos tenemos varios modelos de receptores:

- Receptor de Galena: uno de los receptores más sencillos y tradicionales es el receptor de Galena que sirve para recibir señales de AM. Una notable característica de estos receptores es que no utilizan amplificadores.
- El receptor de radiofrecuencia sintonizada: emplea una o más etapas amplificadoras de radiofrecuencia para aumentar el nivel de las señales recibidas a valores convenientes. En ellos todas las etapas amplificadoras se sintonizan simultáneamente a la frecuencia de recepción para conseguir sensibilidad y selectividad.
- El receptor regenerativo: algo más complejo físicamente que el receptor de Galena, el receptor regenerativo fue desarrollado en 1912 por Edwing H. Armstrong. Este receptor consiste en reinyectar la señal obtenida en la

salida de un amplificador de radiofrecuencia, nuevamente en su entrada para volverla a amplificar una y otra vez.

- El receptor superregenerativo: llega a un punto en el que el amplificador realmente comienza a oscilar, pero en ese preciso instante se hace extinguir o apagar la auto oscilación, recurriendo a características propias del circuito o mediante algún elemento circuital extremo; el ciclo se repite indefinidamente.
- El receptor superheterodino: en él se combina la señal entrante, con otra proveniente de un oscilador que puede ser fijo o variable, para dar como resultado una banda de frecuencias, fija, llamada frecuencia intermedia. En esta banda es más fácil realizar proceso de amplificación, control y selección de la señal.

(Camargo)

### **Métodos de transmisión**

Según el sentido de la transmisión podemos encontrarnos con tres tipos diferentes de métodos para transmitir datos.

- Simplex: este modo de transmisión permite que la información discorra en un solo sentido y de forma permanente, con esa forma es difícil la corrección de errores causados por deficiencias de línea. Como ejemplos de la vida diaria tenemos, la televisión y la radio.
- Half dúplex: en este modo, la transmisión fluye como en el anterior, o sea, en un único sentido de la transmisión de dato, pero no de una manera permanente, pues el sentido puede cambiar. Como ejemplo tenemos los Walkis Talkis.
- Full Duplex: es el método de comunicación más aconsejable, puesto que en el todo momento la comunicación puede ser en dos sentidos posibles y así pueden corregir los errores de manera instantánea y permanente. El ejemplo típico sería el teléfono.

(Camargo)

## Difracción RF

La difracción es un fenómeno que se presenta en todo tipo de ondas, desde electromagnéticas hasta mecánicas y es el caso en el que la frecuencia de la señal transmitida, en el caso del RF, pertenece al VHF en el espectro electromagnético y en la transmisión, en el punto de vista entre transmisor y receptor se encuentra un obstáculo con un ancho mayor a la longitud de onda de la señal. Como consecuencia del fenómeno se presentan pérdidas en la potencia de la señal al igual que el cambio de la dirección de la señal. (Introducción a las redes de sensores inalámbricas, 2013) (Puebla, 2014).

Para este diseño resulta bastante útil, debido a que en la planta hay espacios muy reducidos para moverse y en realidad hay muy pocos puntos de vista entre montacargas debido al almacenamiento del producto, y al momento de transmitir ondas en el rango de los GHz, perfectamente este fenómeno posibilita el enlace entre dos montacargas que no lo tienen.

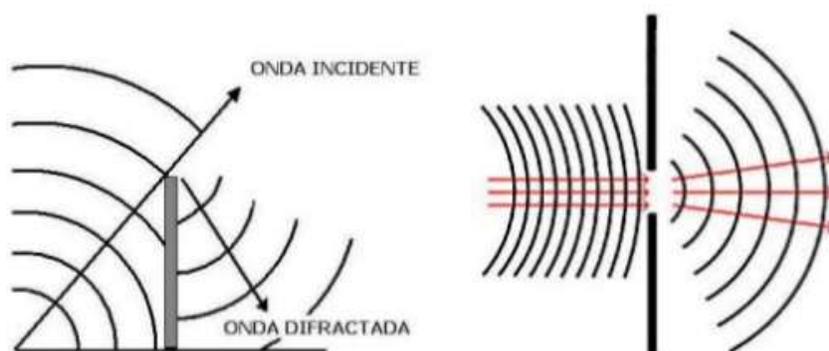


Ilustración 8. Refracción RF. Tomado de <https://es.slideshare.net/atridmolina19/propagacin-reflexin-difraccin-y-refraccin-4-46072023>

## Proteus VSM

Proteus es considerado uno de los mejores y más completos programas para el diseño de circuitos electrónicos en la actualidad, no solo por su capacidad de simulación y análisis, sino también por el hecho de poder utilizar una gran cantidad de microcontroladores de diferentes familias.

Es un sistema de diseño electrónico basado en la simulación analógica, digital o mixta de circuitos, que brinda la posibilidad de interacción con muchos de los elementos que integran el circuito. Incluye componentes animados para la visualización de su comportamiento en tiempo real, además de un completo sistema de generación y análisis de señales. También cuenta con un módulo para el diseño de circuitos impresos.

Las siglas VSM significan Virtual System Modelling, que en español podemos traducir como Sistema de modelado virtual, ya que Proteus VSM permite modelar la forma virtual en la computadora prácticamente cualquier circuito.

El programa cuenta con dos partes o componentes principales. Uno de ellos es el módulo ISIS, que es donde se dibujan los diagramas de los circuitos electrónicos y, también, desde donde se efectúan las simulaciones. El segundo componente es Ares es en este dónde se diseñan las placas del circuito Impreso o PCB.

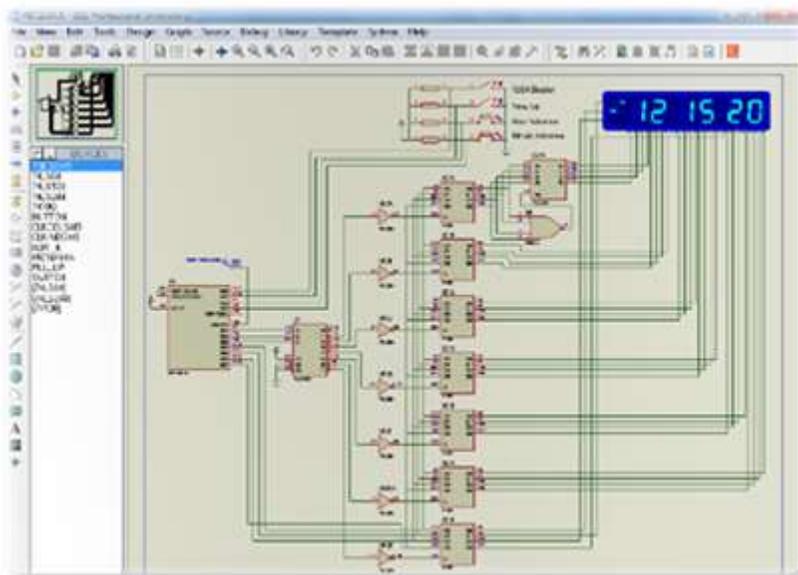


Ilustración 9. Entorno de trabajo módulo ISIS

### 3. Metodología

En el proyecto se plantea un enfoque cualitativo-interactivo por fases.

**Fase 1.** Caracterización de la planta: se hace la visita a la empresa de carga de Bavaria en Duitama-Boyacá para conocer el comportamiento del tráfico montacargas y su sistema de y control.

**Fase 2.** Diseño del sistema: se hace un estudio de la estructura de la planta para saber en qué puntos se va a ubicar e implementar el sistema, con el objetivo de que sea eficiente y cumpla con los objetivos.

**Fase 3.** Selección de la tecnología: se evalúan las opciones tecnológicas disponibles que podrían hacer parte del sistema conociendo anticipadamente las circunstancias que ofrece la planta y los escenarios que se presentan dentro de la planta de carga.

**Fase 4.** Implementación y validación: se implementa el diseño que mejor se acomodó a las especificaciones del proyecto para posteriormente ser sometido a pruebas y correcciones hasta ser aprobado.

### 4. Resumen de actividades

Como primera actividad realizada, se hace visita a la planta de distribución de Bavaria ubicada en Duitama-Boyacá para conocer el comportamiento del tráfico de montacargas y su sistema de supervisión de tráfico. Pudimos darnos cuenta del alto riesgo de accidentes que se pueden encontrar en toda la planta debido a que no se cuenta con un sistema que supla esta necesidad de alto riesgo. Esto anterior acompañado con los constantes excesos de velocidad en los que recurren los montacargas, ha generado en algunas oportunidades, accidentes fatales y pérdidas importantes en materia prima.



Ilustración 10. Letrero de prevención.

Tabla 1. Excesos de velocidad entre 15-04 y 30-04

<b>Velocidad(km/h)</b>	<b>Cantidad de eventos</b>
16	1736
17	456
18	16
19	88
20	96
21	8
22	8

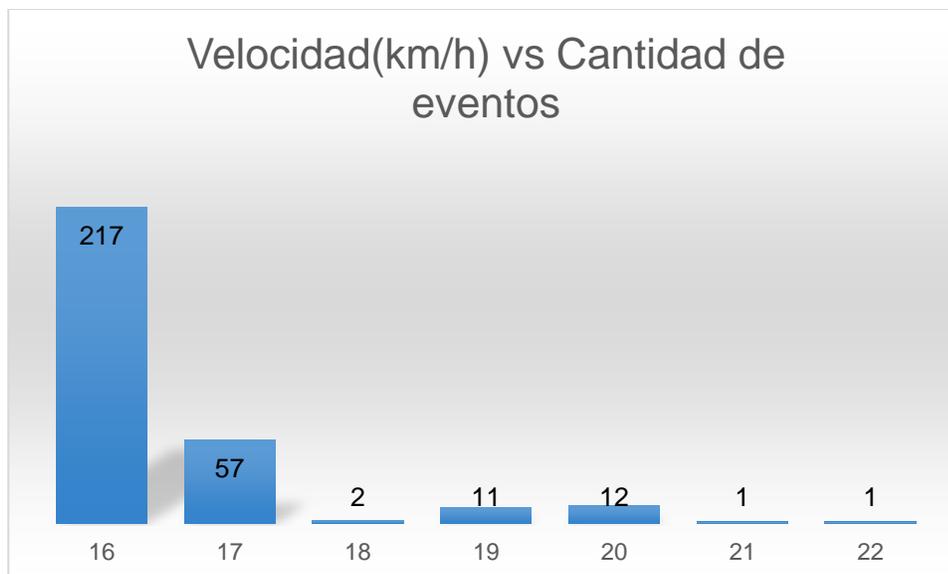


Ilustración 11. Gráfico de comparación excesos de velocidad y su cantidad

De la anterior información proporcionada por la plataforma de monitoreo satelital que usa SOFTECOM (Technology, s.f.), podemos observar que hay una recurrencia permanente a los excesos de velocidad, lo que aumenta la probabilidad de la accidentalidad. Esta tabla muestra la sumatoria de los excesos de velocidad que se presentan las 8 máquinas que se manejan dentro de la planta.

Al momento de hablar con los conductores, pudimos enterarnos de que uno de los factores de la accidentalidad en la planta es la poca visibilidad que ofrece la parte frontal del montacargas.



Ilustración 12. Vista posterior frontal de montacargas.



Ilustración 13. Vista anterior frontal de montacargas.

Los montacargas tienen en sus brazos laterales dos espejos retrovisores que cumplen sus funciones en dos casos. El primero es la constante supervisión de acercamiento con objetos que ocupan el espacio de la planta y la cercanía con otros montacargas. La segunda es para la acción de reversa, cuando los montacargas llevan una carga que impide la visualización frontal, el operados debe llevar la carga en reversa (Onste Safety & Health Consultation Program, 2013).



Ilustración 14.Espejo retrovisor.

Según lo presenciado en la planta, estos espejos no son suficientes y no dan la seguridad al conductor en la operación reversa y tienen que girar completamente el tronco y la cabeza para poder tener certeza de una conducción segura y evitar accidentes (Onste Safety & Health Consultation Program, 2013). Aproximadamente por cada hora que estuvimos observando la operación de la planta, presenciamos cinco (5) eventos donde hubo un gran riesgo de accidentes entre montacargas, uno de ellos que involucraron personas a pie.

En la planta existen puntos críticos por el alto flujo de montacargas y alta accidentalidad, también influye el hecho de que hay una alta densidad de productos en el espacio que se apilan, donde llegan a medir hasta cinco (5) metros de altura con separación de hasta seis (6) metros, por esto el espacio para transitar y mover la carga es bastante reducido y no existen puntos de vista entre montacargas que se mueven en direcciones contrarias. La separación de las zonas de almacenamiento se denota con una línea amarilla en el suelo.



Ilustración 15. Almacenamiento de producto.

Para la implementación del sistema que iba a realizar el control del tráfico de los montacargas en la planta, enfocándonos en las zonas críticas de tránsito, habiendo hecho el estudio de la planta, se tuvo que tener en cuenta algunos factores como:

- Espacio recorrido por el montacargas antes de llegar al cruce.
- Visibilidad del operario hacia otras máquinas que se acercan al cruce en diferentes direcciones.
- Distancia entre cruces dentro de la planta.
- Lugares donde operan los montacargas.
- Tamaño de la planta.
- Densidad de tráfico.

Sabiendo que los cruces no contemplaban el punto de vista entre montacargas, la tecnología que podría cumplir con el objetivo de avisar al otro montacargas en la proximidad avisando del riesgo de colisión aún sin tener punto de vista, es la Radiocomunicación por medio de una transmisión digital de datos, aprovechando el

fenómeno de difracción (Propagación RF Capitulo 1, 2012) que se presenta en el ancho de banda del espectro RF a partir de VHF (Very High Frequency) (Propagación RF Capitulo 1, 2012).

Nombre	Abreviatura inglesa	Banda ITU	Frecuencias	Longitud de onda
			Inferior a 3 Hz	> 100.000 km
Extra baja frecuencia	ELF	1	3-30 Hz	100.000–10.000 km
Super baja frecuencia	SLF	2	30-300 Hz	10.000–1000 km
Ultra baja frecuencia	ULF	3	300–3000 Hz	1000–100 km
Muy baja frecuencia	VLF	4	3–30 kHz	100–10 km
Baja frecuencia	LF	5	30–300 kHz	10–1 km
Media frecuencia	MF	6	300–3000 kHz	1 km – 100 m
Alta frecuencia	HF	7	3–30 MHz	100–10 m
Muy alta frecuencia	VHF	8	30–300 MHz	10–1 m
Ultra alta frecuencia	UHF	9	300–3000 MHz	1 m – 100 mm
Super alta frecuencia	SHF	10	3-30 GHz	100-10 mm
Extra alta frecuencia	EHF	11	30-300 GHz	10–1 mm
			Por encima de los 300 GHz	< 1 mm

Ilustración 16. Espectro RF (científica, 2012).

Para la creación del módulo que iba a ser probado en campo, se crea la PCB que va a servir de prueba para el proyecto.

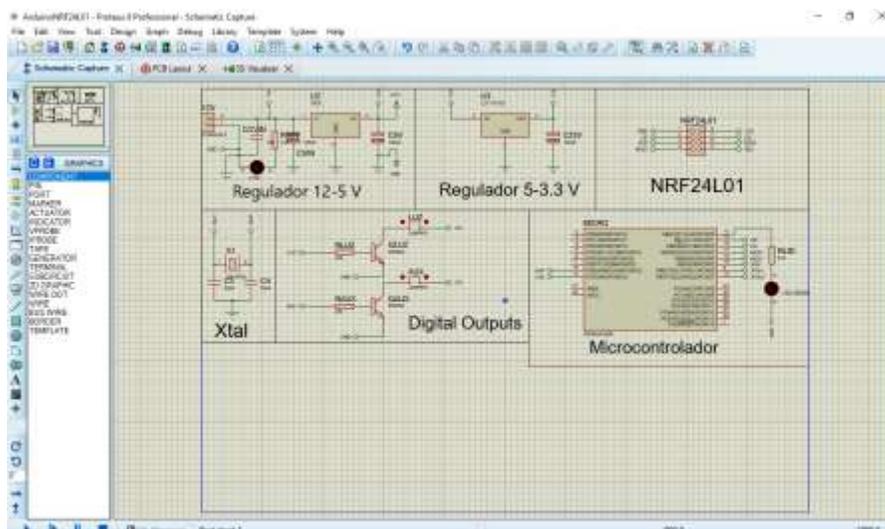


Ilustración 17. Circuito esquemático. Proteus 8 Professional (Labcenter Electronics: Proteus PCB Design & Simulation software, s.f.).

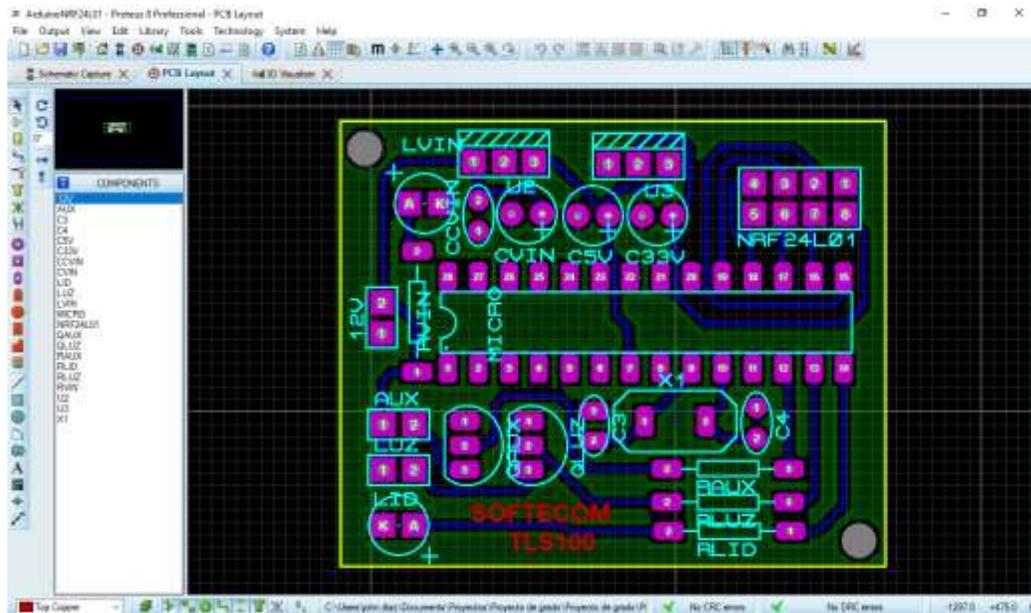


Ilustración 18. PCB de prueba. Proteus 8 Profesional (Labcenter Electronics: Proteus PCB Design & Simulation software, s.f.).

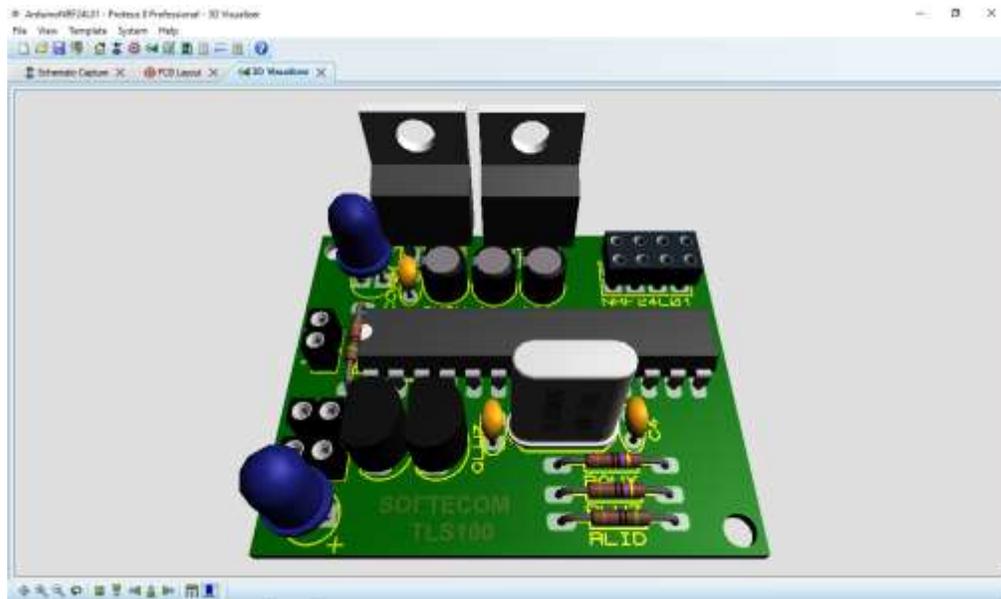


Ilustración 19. Vista PCB 3D. Proteus 8 Profesional (Labcenter Electronics: Proteus PCB Design & Simulation software, s.f.).

Para el diseño del prototipo se tuvieron en cuenta muchas variables que se relacionan directamente con las especificaciones eléctricas de los montacargas en los que se instalaron. Estos montacargas cuentan con baterías de gel de 12VDC/12Ah con un voltaje nominal de 12VDC que presenta el nivel de ruido más bajo entre todas las clases de baterías para montacargas (Damia Solar, 2015). Para evitar sobre picos de corriente, se filtran posibles señales de ruido con capacitores electrolíticos y cerámicos, lo que cubre las subidas repentinas de tensión, altas y bajas frecuencias de ruido provenientes del exterior del módulo.

El micro-controlador usado para el diseño del prototipo es el Atmega328P-PU(Atmel, 2016). Es un micro-controlador de 8 bits con una memoria flash de 32KBytes programable por medio de puerto serial, con entrada de voltaje de alimentación necesaria entre 4.5VDC y 5.1VDC, cuenta con 10 pines digitales I/O programables, 8 entradas de analógicas con ADC de 10Bytes, interfaz serial SPI Maestro/Esclavo. Este último necesario para la implementación del proyecto, debido a que el modulo RF adjunto al microcontrolador funciona y se conecta con el anterior mediante este tipo de interfaz. El regulador pensado e implementado para el prototipo, va de la mano perfectamente con el microcontrolador debido a que la salida de voltaje del regulador está acotada dentro de los rangos de voltaje exigidos por el microcontrolador para un correcto funcionamiento. El microcontrolador necesita 0.2A y el regulador genera 1A, suficientes para permitirle trabajar largas horas sin calentarse.



Ilustración 20. Diagrama diseño alimentación eléctrica de microcontrolador.

El microcontrolador, mediante una interfaz serial SPI(Büch, 2006), y previamente programado en Lenguaje Arduino(W. Evans, 2008), se sincroniza con el módulo NRF24L01(Specification & Features, 2008).. Este módulo es un transceptor digital que tiene características importantes como:

- Ciento veinticinco (125) canales de transmisión programables.
- Todas sus características son programables.
- Diferentes frecuencias de transmisión.
- Transmisión y/o recepción programable.
- Amplio ancho de banda de transmisión.
- Conmutación entre transmisión y recepción.
- Comunicación de información por nodos.
- Diferentes diseños de topografías de redes.
- Alta fidelidad en la transmisión de datos.
- Verificación de transmisión.
- Bajo consumo de corriente.
- Diferentes estados dependiendo de si está activo o inactivo en la transmisión.
- Cuatro (4) rangos de alcance de transmisión programables.
- Entre otras.

(Specification & Features, 2008).

Juntos cumplen la función del censado de cercanía con los otros módulos. Este módulo se alimenta con 3.3VDC. Para esta regulación, se utiliza el regulador LM1117 (Instruments, 2016). Este es un módulo integrado de regulación lineal que previamente filtrado previniendo picos inesperados de corriente y voltaje, genera una salida constante de voltaje de 3.3VDC a 0.8A como máxima salida de corriente. Una vez se genere la suficiente corriente para que el módulo RF se sincronice con el microcontrolador, comienza a actuar como sensor.

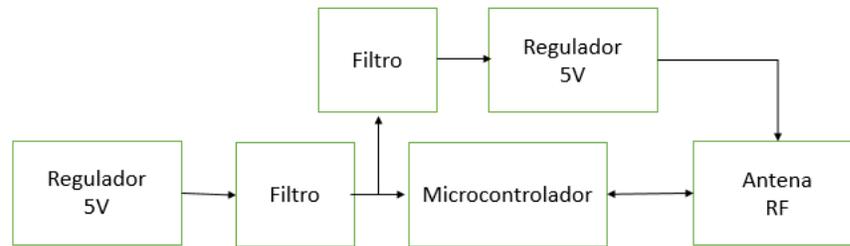


Ilustración 21. Diagrama regulación y comunicación microcontrolador y antena.

El módulo mediante un enlace RF de corto alcance, genera un sensor de proximidad, de tal manera que en el término que alguna otra antena entre en el rango de enlace del otro módulo, detecta que se encuentran en proximidad.

El módulo NRF24L01 resultó óptimo, debido a que, al ser un transceptor, permite enviar y transmitir datos, esto permite en este caso, mediante transmisión del dato que se recibe, saber si hay un montacargas cerca. Para esto, se planteó el siguiente algoritmo, que es por el cual se rige la comunicación y comparación:

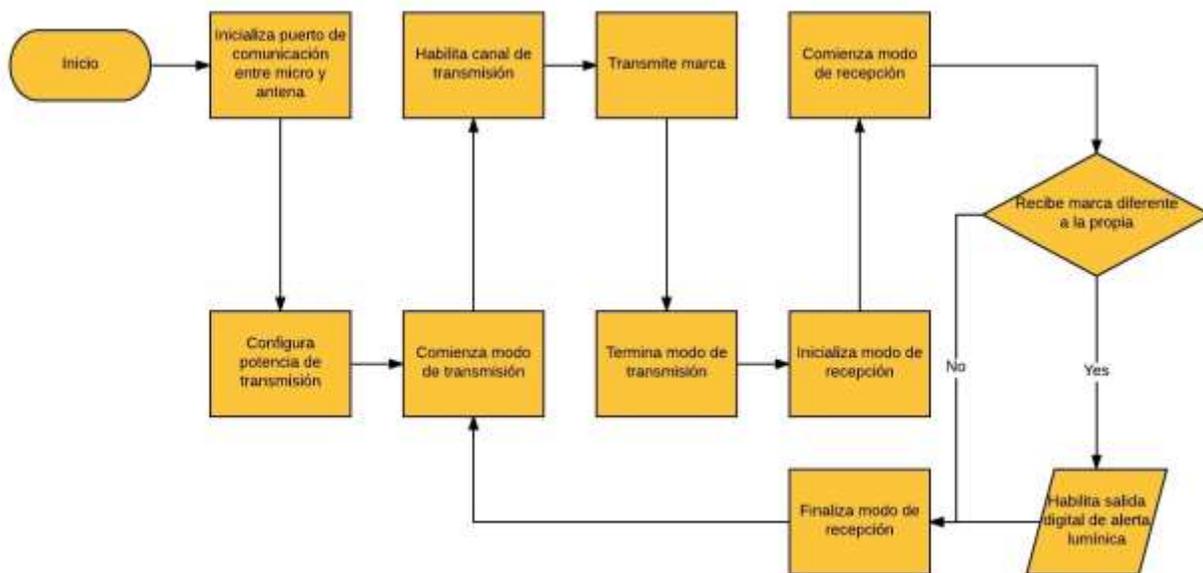


Ilustración 22. Diagrama de flujo de microcontrolador.

Para la salida de alerta lumínica, se pensó en una luz que fuera lo suficientemente visible para que el conductor no tenga que perder de vista su actividad

pero que llamara la atención del mismo en el momento de activarse. Para el control de este indicador lumínico, se hace mediante una salida digital del microcontrolador y acoplado a un transistor NPN, se decidió por implementar el bien conocido 2N2222A, el diagrama es el siguiente:

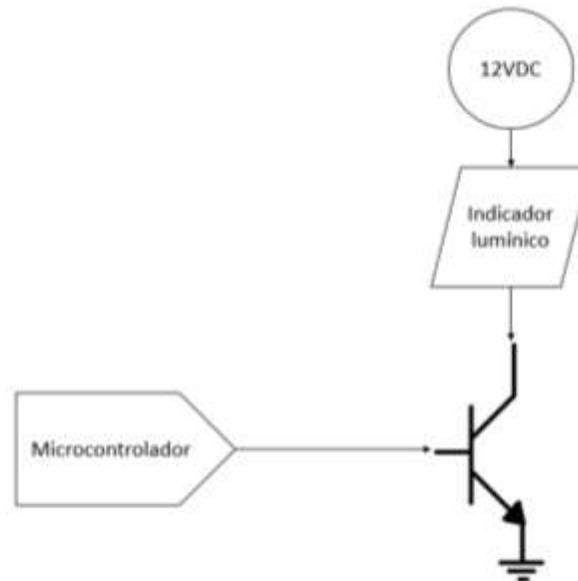


Ilustración 23. Diagrama de activación de indicador lumínico.



Ilustración 24. Luz indicadora de proximidad de montacargas.

En el momento de la implementación se evaluaron dos escenarios, el primero es en el momento en el que ningún montacargas crea enlace debido a que se encuentran lejos del área de cobertura correspondiente. En este escenario, los módulos siguen transmitiendo, pero la alerta lumínica se encuentra apagada indicando que no hay riesgo de colisión.



Ilustración 25. Escenario1. Montacargas sin proximidad.

El segundo escenario, ocurre cuando los módulos están tan cerca que hay enlace y la alerta lumínica se enciende solamente el tiempo que los montacargas se encuentran dentro de la zona de transmisión.



Ilustración 26. Escenario 2. Montacargas en proximidad.

Esta baqueta se presenta en una caja de acrílico prediseñada y hecha por DESINEK (Currea, 2017). Esta caja soporta altas temperaturas y gran capacidad de humedad, lo que permite que la baqueta no llegue a presentar fallas por oxidación debido a la humedad o sobrecalentamientos por las temperaturas provenientes del entorno. El dispositivo cuenta con una alerta auditiva opcional en caso de ser requerida y que es activada con un interruptor que se encuentra en la parte posterior de la caja del dispositivo.



Ilustración 27. Dispositivo de prueba instalado en montacargas.

## 5. Resultados obtenidos

Luego de realizar la prueba del dispositivo durante un mes, se encuentra que no presenta daños por sobrecalentamiento ni por humedad.

Se ha encuestado a los operarios acerca del desempeño del dispositivo y nos han dado información bastante valiosa y precisa donde se nos dijo que no ha dejado de funcionar en ningún momento, es real y bastante clara la alerta en cuanto a que no desconcentra al conductor en su operación y por el contrario está alerta por él en todo momento ya que en algunas ocasiones ellos mismos no lo pueden estar debido a la complejidad de la operación o por lo extenuante de la jornada laboral, o también porque existen más cuidados por los que tienen que estar pendientes.

Para el cálculo del rango de acción del dispositivo, se calcula la distancia con la ecuación de cálculo de pérdidas en trayectoria por el espacio libre:

$$L_p(dB) = 92.4 + 20\text{Log}(f(GHz)) + 20\text{Log}(d(Km))$$

Donde  $L_p$  (dB) son las pérdidas por trayectoria en el espacio libre. El módulo tiene una portadora programada a los 2.4835GHz. Ahora despejamos  $d$  (km) para conocer el alcance, y obtenemos:

$$d(km) = 10^{\frac{1}{20}(L_p(dB) - 20\text{Log}(f(GHz)) - 92.4)} = 10.6$$

El modo de transmisión de la antena nRF24L01 que es el más bajo programable, tiene una potencia de transmisión de -18dBm, al sustituir obtenemos un alcance de aproximadamente 10.6m, que en la práctica se midieron 9m de alcance.

Hemos recibido un parte de satisfacción bastante importante para SOFTECOM SAS y para el proyecto, ya que era indispensable esto para la aprobación del mismo por parte de la empresa.

El dispositivo no tiene afectaciones con los demás dispositivos electrónicos que se encuentran en el medio, como celulares, GPS's y routers Wi-Fi.

Se encuentra que los sensores de presencia o proximidad RF conocidos, deben tener punto de vista ya que la onda que usan, son usadas como sonar para calcular un tiempo de rebote y con este mismo calcular una distancia aproximada. En el caso de este dispositivo, detecta la presencia de otro dispositivo sin necesidad de tener punto de vista, ya que aprovecha el fenómeno de la refracción (Milena, 2013), y dependiendo de la potencia de transmisión de la antena, tenemos una zona de cobertura que va a ser el alcance que va a tener el sensor.

El sensor usa una técnica muy conocida, pero para una función que hace que el proyecto sea único, que normalmente se usa para la comunicación de información de sensores por nodos que crean una red de transmisión de información, esta vez se usa esta técnica para detectar la presencia, usando las dos formas en las que se puede comportar la antena, como transmisor y como receptor.

El dispositivo abre su canal de recepción, si recibe un dato diferente al propio, indica presencia mediante una alerta lumínica y auditiva, luego de esto deshabilita la recepción y activa la forma de transmisión para transmitir su identificación y de esta manera se repite el ciclo. En el cálculo práctico, este ciclo se repite 70 veces por segundo, lo suficiente para confirmar varias veces la presencia con poca probabilidad de errores, ya que además de esto, el dispositivo trabaja con una frecuencia superior al ancho de banda del internet (2.4GHz).

## 6. Conclusiones

Durante el tiempo de prueba del dispositivo, se notó la disminución de accidentes en la planta a cero, en el caso del riesgo de accidentes, se demostró que con el dispositivo existieron muy pocas ocasiones en las que hubo acercamientos peligrosos entre montacargas.

A diferencia de otros productos encontrados en el mercado, este no necesita módulos estáticos o señalización en los puntos críticos, esto debido a que existen plantas donde no hay estantes que permiten poner una señalización que sea visible para conductores y peatones, por el contrario, la señalización está constantemente en el punto de vista con el conductor, lo que lo hace más versátil.

Algo importante para destacar, y como modo de resumir la funcionalidad del sistema, el dispositivo funciona como RFID activo, ya que, para transmitir las etiquetas, se aprovecha de la alimentación constante del montacargas para hacerlo en todo momento, no tiene que estar cerca a otro dispositivo, ni tampoco necesita una señal electromagnética de excitación para transmitir como ocurre en el RFID pasivo.

La técnica de censado por ultra alta frecuencia UHF permitió aprovechar el fenómeno de difracción, para que esto permitiera el conocimiento de presencia sin tener un punto de vista entre dispositivos.

## 7. Recomendaciones

La recomendación principal para el momento de la implementación, el módulo debe estar alejado de las partes móviles del montacargas, debido a que se puede presentar la posibilidad de que una de estas partes, aplaste la caja del dispositivo y la baqueta quede expuesta a cortos circuitos y su posterior pérdida material.

La otra recomendación es alejarla de las fuentes de calor, como el motor, los escapes de aire, esto puede generar un sobrecalentamiento en el dispositivo y puede comportarse de manera extraña, o en el peor de los casos, generar un daño irreparable.

En cuanto a la alerta lumínica, alejar las extensiones de cable de las partes móviles como las grúas hidráulicas de las horquillas, y poner la luz en un punto visible para el conductor, debido a que la operación de los conductores no permite que esté pendiente de testigos alejados de su limitado punto de vista en el frontal del montacargas.

## BIBLIOGRAFÍA

Alvarez, S. P. (2004). Software para análisis del presupuesto de enlace para comunicaciones vía satélite. Puebla.

Asociación Chilena de Seguridad. (Marzo de 1997). *Prevención de Riesgos en la Operación de Grúas Horquillas*. Obtenido de <http://www.achs.cl/>.

Camargo, B. R. (s.f.). Diseño y construcción de un robot de vigilancia con paralizador. *Repositorio digital de la Facultad de Ingeniería - UNAM*. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/701/A7.pdf?sequence=7>

Capella Hernández, J. V. (Abril de 2010). Tesis Doctoral. *Redes inalámbricas de sensores: Una nueva arquitectura eficiente y robusta basada en jerarquía dinámica de grupos*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.

científica, R. d. (Abril-Junio de 2012). Television Digital. *Cienciacierta*(30), 1. Obtenido de <http://www.posgradoeinvestigacion.uadec.mx/CienciaCierta/CC30/1.html>

Currea, O. (Abril de 2017). *Caja de presentación acrílica*. Obtenido de DESINEK: <http://www.desinek.com/>

*Damia Solar*. (20 de 09 de 2015). Obtenido de [https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/ventajas-baterias-de-gel\\_1](https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/ventajas-baterias-de-gel_1)

David, G. (2000). Redes de Sensores Inalámbricos, la tecnología invisible. *Tecnología y Sociedad*, 53-55.

Francisco, O. T. (Noviembre de 2013). *Redes de sensores inalámbricos*. Obtenido de <http://profesores.elo.utfsm.cl>.

Garbaino, J. (7 de Noviembre de 2011). Tesis de Ingeniería en Informática. *Protocolos para redes inalámbricas de sensores*. Buenos Aires, Argentina: Facultad de Ingeniería.

Instruments, T. (Enero de 2016). LM1117 800mA Low-Dropout Linear Regulator. Masachusets, Texas, USA: Texas Instruments.

Instruments, T. (January de 2016). Texas Instruments. *LM1117 800-mA Low-Dropout Linear Regulator*. USA: Texas Instruments. Obtenido de <http://www.ti.com/>

Introducción a las redes de sensores inalámbricas. (2013). En *Wireless Sensor Network* (pág. 20).

Keytroller. (2017). *Keytroller. Creating a culture of safety*. Obtenido de <http://www.keytroller.com/>

*Labcenter Electronics: Proteus PCB Design & Simulation software*. (s.f.). Obtenido de Labcenter Electronics: <https://www.labcenter.com/>

Laborales, I. A. (s.f.). Principales factores de riesgo del tráfico en la empresa. España.

Milena, A. C. (2013). Estado del arte de las redes de sensores inalámbricos. *Revista digital TIA*, 4-14.

Modulación digital. (2010). En *Sistemas de Telecomunicaciones* (pág. 18).

NORDIC SEMICONDUCTOR. (s.f.). *nRF24L01+ Single Chip 2.4GHz Transceiver*. Obtenido de <http://www.nordicsemi.com/>.

Onste Safety & Health Consultation Program. (Noviembre de 2013). Seguridad con los Montacargas. El aprender a maniobrar de manera segura el montacargas le puede salvar la vida. Chicago, Illinois, Estados Unidos.

Propagación RF Capitulo 1. (2012).

Puebla, U. d. (2014). *catarina.udlap.mx*. Obtenido de [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/nocedal\\_d\\_jm/capitulo1.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/nocedal_d_jm/capitulo1.pdf)

Ramirez Reyna, M. A., Rivero Ángeles, M. E., & Villordo Jimenez, I. (Junio de 2014). Monitoreo de tráfico vehicular en sistemas V21 mediante el uso de una red inalámbrica de sensores. Medellín, Antioquia, Colombia.

Red Internacional de Seguridad y Salud Ocupacional. (s.f.). *RIDSSO*. Obtenido de [www.ridssso.com](http://www.ridssso.com)

Sc., N. L., Sc., E. L., & D., J. W. (26 de noviembre de 2010). Sistema de monitoreo de tránsito vehicular basados en técnicas de segmentación de imágenes. 7. (R. A. Informática, Ed., & U. N. Colombia, Recopilador) Medellín, Colombia, Antioquia, Colombia. Recuperado el 15 de Noviembre de 2016

SICK. (s.f.). *SICK Sensor Intelligence*. Obtenido de <https://www.sick.com/es/es/vision/vision-3d/visionary-b/v3s153-1aaaaap01/p/p405644>

Softecom. (2017). *Pagina Oficial Softecom*. Obtenido de <http://softecom.co/>

Technology, A. (s.f.). *Plataforma de monitoreo*. Obtenido de <http://gpsmobile.co:3000/>

Wikipedia. (22 de Marzo de 2017). *Análisis Estadístico de Accidentes*. Obtenido de [http://previpedia.es/An%C3%A1lisis\\_estad%C3%ADstico\\_de\\_accidentes#.C3.8Dndice\\_de\\_incidencia\\_de\\_accidentes\\_mortales](http://previpedia.es/An%C3%A1lisis_estad%C3%ADstico_de_accidentes#.C3.8Dndice_de_incidencia_de_accidentes_mortales)

Alvarez, S. P. (2004). Software para analisis del presupuesto de enlace para comunicaciones vía satélite. Puebla.

Asociación Chilena de Seguridad. (Marzo de 1997). *Prevención de Riesgos en la Operación de Grúas Horquillas*. Obtenido de <http://www.achs.cl/>.

Capella Hernández, J. V. (Abril de 2010). Tesis Doctoral. *Redes inalámbricas de sensores: Una nueva arquitectura eficiente y robusta basada en jerarquía dinámica de grupos*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.

científica, R. d. (Abril-Junio de 2012). Television Digital. *Cienciacierta*(30), 1. Obtenido de <http://www.posgradoeinvestigacion.uadec.mx/CienciaCierta/CC30/1.html>

Curra, O. (Abril de 2017). *Caja de presentación acrílica*. Obtenido de DESINEK: <http://www.desinek.com/>

*Damia Solar*. (20 de 09 de 2015). Obtenido de [https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/ventajas-baterias-de-gel\\_1](https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/ventajas-baterias-de-gel_1)

David, G. (2000). Redes de Sensores Inalámbricos, la tecnología invisible. *Tecnología y Sociedad*, 53-55.

Francisco, O. T. (Noviembre de 2013). *Redes de sensores inalámbricos*. Obtenido de <http://profesores.elo.utfsm.cl>.

Garbaino, J. (7 de Noviembre de 2011). Tesis de Ingeniería en Informática. *Protocolos para redes inalámbricas de sensores*. Buenos Aires, Argentina: Facultad de Ingeniería.

Instruments, T. (Enero de 2016). LM1117 800mA Low-Dropout Linear Regulator. Masachusets, Texas, USA: Texas Instruments.

Instruments, T. (January de 2016). Texas Instruments. *LM1117 800-mA Low-Dropout Linear Regulator*. USA: Texas Instruments. Obtenido de <http://www.ti.com/>

Introducción a las redes de sensores inalámbricas. (2013). En *Wireless Sensor Network* (pág. 20).

Keytroller. (2017). *Keytroller. Creating a culture of safety*. Obtenido de <http://www.keytroller.com/>

*Labcenter Electronics: Proteus PCB Design & Simulation software*. (s.f.). Obtenido de Labcenter Electronics: <https://www.labcenter.com/>

Laborales, I. A. (s.f.). Principales factores de riesgo del tráfico en la empresa. España.

Milena, A. C. (2013). Estado del arte de las redes de sensores inalámbricos. *Revista digital TIA*, 4-14.

Modulación digital. (2010). En *Sistemas de Telecomunicaciones* (pág. 18).

NORDIC SEMICONDUCTOR. (s.f.). *nRF24L01+ Single Chip 2.4GHz Transceiver*. Obtenido de <http://www.nordicsemi.com/>.

Onsite Safety & Health Consultation Program. (Noviembre de 2013). Seguridad con los Montacargas. El aprender a maniobrar de manera segura el montacargas le puede salvar la vida. Chicago, Illinois, Estados Unidos.

Propagación RF Capítulo 1. (2012).

Puebla, U. d. (2014). *catarina.udlap.mx*. Obtenido de [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/nocedal\\_d\\_jm/capitulo1.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/nocedal_d_jm/capitulo1.pdf)

Ramirez Reyna, M. A., Rivero Ángeles, M. E., & Villordo Jimenez, I. (Junio de 2014). Monitoreo de tráfico vehicular en sistemas V21 mediante el uso de una red inalámbrica de sensores. Medellín, Antioquia, Colombia.

Red Internacional de Seguridad y Salud Ocupacional. (s.f.). *RIDSSO*. Obtenido de [www.ridsso.com](http://www.ridsso.com)

Sc., N. L., Sc., E. L., & D., J. W. (26 de noviembre de 2010). Sistema de monitoreo de tránsito vehicular basados en técnicas de segmentación de imágenes. 7. (R. A. Informática, Ed., & U. N. Colombia, Recopilador) Medellín, Colombia, Antioquia, Colombia. Recuperado el 15 de Noviembre de 2016

Softecom. (2017). *Pagina Oficial Softecom*. Obtenido de <http://softecom.co/>

Technology, A. (s.f.). *Plataforma de monitoreo*. Obtenido de <http://gpsmobile.co:3000/>

Wikipedia. (22 de Marzo de 2017). *Análisis Estadístico de Accidentes*. Obtenido de [http://previpedia.es/An%C3%A1lisis\\_estad%C3%ADstico\\_de\\_accidentes#.C3.8Dndice\\_de\\_incidencia\\_de\\_accidentes\\_mortales](http://previpedia.es/An%C3%A1lisis_estad%C3%ADstico_de_accidentes#.C3.8Dndice_de_incidencia_de_accidentes_mortales)

## Anexo A

Código de microcontrolador ATMEGA328P – PU(Atmel, 2016).

El código se desarrolló en lenguaje Arduino(W. Evans, 2008)(Software, 2010), donde se usaron librerías de código abierto.

```
#include <SPI.h>
#include "RF24.h"

RF24 myRadio (9, 10);

byte addresses[][6] = {"1Node"};

int dataTransmitted = 113;
int dataReceived = 0;
bool radioNumber = 0;

void setup()
{
  pinMode(8, OUTPUT);
  pinMode(7, OUTPUT);
  pinMode(6, OUTPUT);
  myRadio.begin();

  myRadio.enableAckPayload();           // Allow optional ack payloads
  myRadio.enableDynamicPayloads();     // Ack payloads are dynamic payloads

  //myRadio.setDataRate(RF24_2MBPS);
  myRadio.setChannel(124);//0-124
  myRadio.setPALevel(RF24_PA_MIN);
  //RF24_PA_MIN
  //F24_PA_LOW
  //RF24_PA_HIGH
  //RF24_PA_MAX

  myRadio.startListening();           // Start listening
}

void loop()
{
```

```
    escribe();//Escribe
    delay(1);
    lee();//Lee
}

void escribe() {

    myRadio.openWritingPipe(addresses[0]);

    myRadio.stopListening();

    myRadio.write( &dataTransmitted, sizeof(dataTransmitted) );

    delay(10);

}

void lee() {

    myRadio.openReadingPipe(1, addresses[0]);

    myRadio.startListening();

    if ( myRadio.available() ) {
        while (myRadio.available()) {
            myRadio.read( &dataReceived, sizeof(dataReceived) );
        }
    }
    else dataReceived = 0;

    if (dataReceived != dataTransmitted && dataReceived >= 100){
        digitalWrite(8, HIGH);
        digitalWrite(7, HIGH);
        digitalWrite(6, HIGH);}
    else {
        digitalWrite(8, LOW);
        digitalWrite(7, LOW);
        digitalWrite(6, LOW);}
    delay(10);

}
```

## Anexo B

### Ficha técnica dispositivo

Voltaje de alimentación:

9 – 13.5VDC

Consumo de corriente:

500mA

Alcance máximo de censado:

10m bajo techo – 8m en exterior

Periféricos:

Corriente de salida de alarma lumínica: 500mA

Corriente de salida de alarma auditiva: 500mA

Fusible 0.75A

Rango de temperatura ambiente:

Mínimo: -10°C

Máxima: 40°C

Frecuencia de transmisión

2.4835GHz