

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



**Firma y monitoreo de materiales de construcción.**

Trabajo de graduación en modalidad de Tesis presentado por Diego Jossué Contreras Méndez para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Electrónica

Guatemala

2021



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



**Firma y monitoreo de materiales de construcción.**

Trabajo de graduación en modalidad de Tesis presentado por Diego  
Jossué Contreras Méndez para optar al grado académico de Licenciado  
en Ingeniería Electrónica

Guatemala

2021




Vo.Bo.:

(f)   
MSc. Carlos Alberto Esquit Hernández

Tribunal Examinador:

(f)   
MSc. Carlos Alberto Esquit Hernández

(f)   
Ing. Pablo Daniel Mazariegos de la Cerda

(f)   
Ing. Diana Lulú McDonald Peláez

Fecha de aprobación: Guatemala 22 de Junio de 2021.



El tema de tesis de firma de cumplimiento nace de la falta de visibilidad en temas logísticos para transporte de materiales de construcción. Esta carencia se pudo observar desde la tienda ProgresoLabs, proyecto que iniciamos en Progreso como una iniciativa de innovación. El impacto de esta información es importante tanto de cara al cliente como al control de transporte interno, estos datos podrían ayudar a validar temas de incentivos a los empleados de la tienda como mejorar sistema de rutas y métodos de fidelización de clientes. El objetivo de generar estos datos y brindar visibilidad al departamento de logística se logró con éxito.

El desarrollo del prototipo fue acelerado logrando satisfactoriamente un primer diseño para prototipar este tipo de solución. Se encontraron dificultades para decidir el sensor a utilizar por temas de cuidado del producto (sacos) que se transportan en el tipo de camiones seleccionados.

Agradezco a mi mamá, Débora Méndez por su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera tanto en el ámbito educativo como personal y a mi abuela, Irma Méndez quien contribuyó grandemente en un desarrollo integral para poder hacer un impacto en lo que me proponga. A Progreso por abrir las puertas a mis ideas y al increíble equipo de trabajo en ProgresoLabs quienes me apoyaron para poder brindar una solución integral al problema planteado. Agradezco a mi asesor y director de carrera, Carlos Esquit por todo el apoyo brindado para poder culminar con éxito este proyecto propuesto en tan poco tiempo.

Agradezco también a mi casa de estudios, la Universidad del Valle de Guatemala, a todos los profesores y compañeros que me ayudaron a formarme profesionalmente y personalmente. Agradezco a mi mamá y abuela quienes a lo largo de los años me han mostrado su apoyo incondicional.

Agradezco al departamento de Ingeniería Electrónica, quienes me brindaron apoyo a lo largo de los años, al Ingeniero Carlos Esquit quien me aconsejó y me guió de la mejor manera para mi desarrollo profesional. Al Ingeniero Pablo Mazariegos quien me brindó su apoyo y sus consejos para temas educativos, profesionales y personales.

Agradezco a Progreso, en donde siempre se veló por mi desarrollo profesional y en donde he encontrado un equipo de trabajo increíble. A Lulú Mcdonald por su apoyo en mi desarrollo profesional, a Jhon Olave y al resto del equipo por ser un brazo de apoyo en este proyecto.



<b>Prefacio</b>	VI
<b>Lista de figuras</b>	XII
<b>Lista de cuadros</b>	XIII
<b>Resumen</b>	XV
<b>1. Introducción</b>	1
<b>2. Antecedentes</b>	3
<b>3. Justificación</b>	5
<b>4. Objetivos</b>	7
4.1. Objetivo general	7
4.2. Objetivos específicos	7
<b>5. Marco teórico</b>	9
5.1. Logística	9
5.2. Sensores	9
5.3. Microcontroladores	10
5.4. Comunicación SMS	11
5.5. Placa de circuito impreso	11
<b>6. Metodología</b>	13
<b>7. Reacción de tecnologías a ambientes constructivos</b>	15
7.1. Sensores considerados	17
7.2. Resultados de las pruebas	19
<b>8. Arreglos de sensores propuestos</b>	23
8.1. Arreglo de 3 sensores	23
8.1.1. Ventajas	23

8.1.2. Desventajas . . . . .	23
8.1.3. Posibles problemas . . . . .	24
8.2. Arreglo de 2 sensores . . . . .	24
8.2.1. Ventajas . . . . .	24
8.2.2. Desventajas . . . . .	24
8.2.3. Posibles problemas . . . . .	24
<b>9. Sensores considerados</b>	<b>25</b>
9.1. Modelos considerados . . . . .	26
9.1.1. MC38 . . . . .	26
9.1.2. LJ18A3-8-Z . . . . .	28
<b>10. Selección de microcontrolador</b>	<b>31</b>
10.1. Características . . . . .	32
10.2. Proveedores y precio . . . . .	32
<b>11. Modelo a escala</b>	<b>35</b>
11.1. Modelo propuesto . . . . .	35
11.1.1. Comunicación GSM . . . . .	35
11.1.2. Identificación RFID . . . . .	36
11.1.3. Alimentación . . . . .	37
11.1.4. Esquemático propuesto . . . . .	39
11.1.5. Diagrama de flujo . . . . .	41
11.1.6. Librerías utilizadas en código . . . . .	42
11.1.7. Conexiones en protoboard . . . . .	43
11.2. Errores encontrados . . . . .	45
11.3. Recomendaciones . . . . .	46
11.4. Nuevos aprendizajes . . . . .	46
<b>12. Implementación y resultados</b>	<b>47</b>
12.1. Diseño PCB circuito principal . . . . .	47
12.2. Creación del PCB . . . . .	50
12.3. Circuito de acople de sensores . . . . .	50
12.4. Diseño caja contenedora . . . . .	55
12.4.1. Segundo diseño de caja . . . . .	60
12.5. Instalación . . . . .	63
12.5.1. Sensores . . . . .	63
12.5.2. Batería . . . . .	66
12.5.3. Circuito de acople . . . . .	67
12.5.4. Fijación de caja . . . . .	68
12.5.5. Pruebas . . . . .	70
12.6. Problemas encontrados . . . . .	76
12.7. Recomendaciones . . . . .	76
<b>13. Validación</b>	<b>79</b>
13.1. Hallazgos clientes . . . . .	79
13.2. Hallazgos departamento de mercadeo . . . . .	79
13.3. Hallazgos departamento de logística . . . . .	80

<b>14.Propuesta de escalabilidad</b>	<b>81</b>
<b>15.Discusión</b>	<b>83</b>
<b>16.Conclusiones</b>	<b>85</b>
<b>17.Bibliografía</b>	<b>87</b>
<b>18.Anexos</b>	<b>89</b>
<b>18.1. Código</b> . . . . .	89



1. Clasificación de sensores . . . . .	10
2. Camión de 5 toneladas . . . . .	15
3. Modelo de prueba de sensores . . . . .	16
4. Switch magnético MC38 . . . . .	17
5. Sensor ultrasónico HC-SR04 . . . . .	18
6. Sensor infrarrojo HW-201 . . . . .	18
7. Interruptor inductivo LJ18A3-8-z . . . . .	19
8. Sensor infrarrojo sin polvillo . . . . .	20
9. Sensor infrarrojo con polvillo de cemento . . . . .	20
10. Switch magnético con polvillo puerta abierta . . . . .	21
11. Switch magnético con polvillo puerta cerrada . . . . .	21
12. Sensor inductivo sin polvillo . . . . .	22
13. Sensor inductivo con polvillo . . . . .	22
14. SM-4601-L3Q . . . . .	26
15. Módulo MC38 con recubrimiento metálico . . . . .	27
16. Sensor de proximidad inductivo cubierto con niple de acero . . . . .	28
17. Pines arduino nano . . . . .	31
18. Módulo SIM800L V2 . . . . .	36
19. Módulo de identificación RFID . . . . .	37
20. Módulo convertidor LM2596 . . . . .	38
21. Esquemático . . . . .	39
22. Diagrama de flujo para un ciclo . . . . .	41
23. Ensamble completo modelo a escala . . . . .	43
24. Sistema en protoboard sin firma . . . . .	44
25. Sistema en protoboard con firma . . . . .	44
26. Mensajes recibidos en modelo a escala . . . . .	45
27. Diseño PCB . . . . .	48
28. Modelo 3d PCB . . . . .	49
29. PCB final . . . . .	50

30. Relé JQC-3FC(T73) utilizado	51
31. Transistor 2n3904 utilizado	52
32. Esquemático circuito de acople	52
33. Circuito de acople en placa perforada	53
34. Diseño PCB circuito de acople	53
35. Diseño 3d circuito de acople	54
36. Terminales consideradas para caja	55
37. Logo del proyecto	56
38. Diseño de caja	57
39. Caja sin PCB y sin switch	58
40. Caja totalmente armada	59
41. Caja armada sin firmar	59
42. Caja armada con firma	60
43. Switch con llave ON/OFF	61
44. Segundo diseño de caja	62
45. Prototipo 2 ensamblado	63
46. Colocación de sensor	64
47. Soldadura plástica sensor	65
48. Cable puerta-base	65
49. Instalación de cables a cabina	66
50. Primera prueba de conexión en cabina	67
51. Instalación circuito de acople	68
52. Instalación final	69
53. Instalación final vista por fuera del camión	69
54. Prueba camión cargado con piedrín	70
55. Pruebas 1 abril	71
56. Pruebas 13 abril	72
57. Pruebas 14 abril	72
58. Pruebas 19 abril	73
59. Pruebas 21 abril	74
60. Prueba 1 de junio	75
61. Prueba 2 de junio	76

---

Lista de cuadros

---

1. Medidas de palangana en centímetros . . . . .	16
2. Dimensiones modelo a escala en centímetros . . . . .	16
3. Descripción de pines Arduino Nano . . . . .	32
4. Especificaciones técnicas Arduino Nano . . . . .	32
5. Proveedores y precios . . . . .	33





Un punto de dolor dentro del proceso constructivo es la logística de entrega a consumidores finales. Este proyecto pretende reducir la brecha entre la generación de información importante para optimizar procesos de logística. El proyecto consiste en la implementación de un microcontrolador que a través de sensores genere una firma electrónica que indique al cliente que el producto fue revisado y validado en la tienda sin tener alguna modificación en su trayectoria, esta misma firma documenta el verificador a cargo de los productos colocados en el transporte reduciendo errores en entregas parciales y fortaleciendo el manejo de responsabilidades dentro del departamento de logística. Al romper la firma electrónica (en el punto de entrega) el sistema podrá registrar los tiempos de entrega desde que la firma se generó, avisando al encargado de logística que el producto fue entregado para darle seguimiento al transportista como a la venta, habilitando de esta manera manejo de rutas como estrategias postventa. Los sensores que monitorean la firma sirven también para calcular tiempos de descarga del producto una vez la firma se rompa. Los datos serán importantes para evaluar tanto transportistas como estrategias de logística y postventa. Al regresar a la bodega de la cual salió el producto el encargado de logística terminará el proceso reiniciando el sistema y registrando el tiempo de retorno. El sistema implementado tendrá comunicación en tiempo real con el departamento de logística a través de comunicación SMS.

Para la implementación de este sistema se tomaron en cuenta tanto el tipo de transporte cómo el tipo de comunicación que se debe tener con el departamento de logística. Los camiones seleccionados fueron de 5 toneladas de palangana (3 puertas abatibles) en los cuales se transportan materiales como cemento, predosificados, pedrín, pilas, entre otros. Para este tipo de transporte se consideraron sensores que no representaran un riesgo para los sacos (que pudieran cortar los sacos) y que pudieran aguantar golpes en la carga o descarga del pedrín. En cuanto a la comunicación con el tema de logística se determinó que el mejor método era a través de mensajes de texto, esto con el fin de no sobrecargar medios tradicionales como correo con este tipo de notificaciones. De esta manera el encargado de logística tiene un registro de los tiempos de una manera no invasiva apoyando así al control del transporte interno de la tienda.



El proceso constructivo en Guatemala al día de hoy se encuentra con muchos puntos de dolor desde la idea de construcción hasta su ejecución final. Un punto de dolor grande dentro de este proceso se encuentra en el tema de logística. La logística para este giro de negocios necesita ser costo-eficiente, reduciendo errores en las entregas, optimizando rutas y teniendo un buen manejo de incentivos dentro de la fuerza de transporte de las empresas.

Ante esta problemática se encuentra una falta de visibilidad del transporte. Si bien la mayoría de transportes tienen adecuado un sistema GPS (dentro del ambiente observado en ProgresoLabs y tiendas Construfácil) este sistema no genera información de valor y es una herramienta limitada a pocos usuarios siendo poco efectiva. Los transportistas muchas veces a falta de incentivos adecuados o por falta de conocimiento utilizan rutas no óptimas para las entregas alargando así el tiempo de entrega de producto y retrasando así el proceso logístico.

El manejo correcto de los ayudantes del transporte es crítico. Estos pueden mejorar tiempos de carga y descarga haciendo de esta manera el sistema más eficiente. Este manejo también tiene un costo agregado que se debe considerar dentro del proceso logístico por lo que indicadores como "tiempos de descarga" son de suma importancia para la toma de decisiones dentro del departamento.

Este trabajo de graduación consiste entonces en realizar un sistema que permita dar visibilidad a indicadores de una manera más precisa para mejorar la toma de decisiones y manejo de responsabilidades dentro de la tienda ProgresoLabs. Para esto se utilizó un microcontrolador que permitiera leer sensores que detecten el estado de la palangana (abierto y cerrado) para así medir tiempos en ciertos parámetros establecidos. Este microcontrolador tiene así mismo un sistema GSM que permite la comunicación constante con el departamento de logística para el monitoreo del transporte en tiempo real, así mismo, cuenta con un sistema de identificación por tarjetas RFID para el manejo de responsabilidades en el personal encargado en la carga del material al transporte.

El objetivo del proyecto es proporcionar una herramienta que de visibilidad para mejorar

la toma de decisiones mejorando así el proceso logístico de la tienda ProgresoLabs. Cabe mencionar que aunque la implementación para esta tesis sea acotada a la tienda ProgresoLabs el diseño es universal y programable para cualquier negocio que tenga éste tipo de transporte.

Para llegar a la solución propuesta en esta tesis se involucraron a todas los departamentos de la tienda ProgresoLabs. El motivo de que se tuviera esta apertura con departamentos como logística, gerencia y bodega fue para brindar una solución integral evitando alterar de una manera inadecuada procesos ya establecidos dentro de la tienda así cómo no afectar la operación habitual del camión.

El problema identificado nace a partir de una iniciativa de innovación dentro de la logística de ProgresoLabs. En mayo del año 2020 la tienda cambia de gerente tomando el mando el equipo de innovación a cargo de Lulú McDonald en donde se pretendía hacer la operación más costo-eficiente. Dentro de los análisis encontrados se observó el tema de logística de tienda en donde se encontró que los transportistas tercerizados eran más eficientes que los pilotos del transporte propio. Esto tenía varias razones de ser, una de ellas era el manejo de incentivos para los pilotos que estaban en nómina de la tienda. El proceso de entrega se hacía más largo, causando así menos viajes por camión y por ende más transportistas tercerizados contratados para poder así cumplir con la promesa de entrega.

Para monitorear de una manera más efectiva al transporte interno se intentó acceder a plataformas de GPS (ya instaladas en los camiones). Con esta iniciativa se pudo notar una falta de datos, aunque los datos que mostraban indicaban la ruta y ubicación actual del camión, no se pudieron sustraer temas de tiempo de descarga ni mejorar el manejo de responsabilidades. Estos sistemas además presentaban el problema de difícil acceso y modificación ya que los usuarios que tienen acceso a estos sistemas son pocos dentro de la empresa y son sistemas que en su mayoría se implementan en solución de problemas y no en dar visibilidad de la eficiencia del transporte.

Además de los sistemas ya descritos, se encontró un déficit de datos para poder validar iniciativas que se pudieran tener dentro del departamento de logística. Los datos del verificador (bodeguero) a cargo de los camiones al haber problemas quedaban confusos por el tipo de operación de la tienda ya que dependía de la disponibilidad del personal más que en una planificación de logística. Los tiempos de descarga no tenían trazabilidad en lo absoluto dejando ambiguo el tema de la asignación de ayudantes por carga.



---

### Justificación

---

Ante la necesidad de datos descrita en los antecedentes, surge el proyecto de "firma de cumplimiento". Este concepto fue evolucionando conforme se identificaron distintos puntos de dolor en la logística tanto en procesos internos como con el cliente.

El primer problema identificado fue la incerteza por parte del cliente que el material había salido de la tienda en óptimas condiciones. Se hicieron notar casos fuera de ProgresoLabs en donde el producto salía de la tienda completo, sin embargo, al recibir el cliente faltaba producto que se había cargado. Esto en materiales masivos como block, sacos de cemento, ladrillos, etc. mediante la realización de entrevistas a administradores de ferreterías pequeñas, se pudo notar que en algunas ocasiones los transportistas podían hacer paradas para descargar pequeñas cantidades de productos antes de llegar al cliente, siendo el transportista el responsable de la diferencia de producto en el punto de entrega.

El segundo problema se centró en los tiempos de descarga. El tiempo de descarga era un parámetro que ya se había considerado en medir pero no existía una herramienta que permitiera dar visibilidad a esta variable. Se pudo observar dentro de la tienda que muchos pilotos aprovechan el tiempo de descarga para descansar dentro de las instalaciones del cliente. Se pudo percibir que muchos proveedores tenían que acudir a una llamada telefónica a la tienda para preguntar si el producto había sido descargado y si el piloto ya se había retirado para poder llevar un control sobre su transporte. Los tiempos de descarga dentro de la tienda podían variar bastante también con la asignación de ayudantes al piloto, dejando menos personal para cargar a los clientes dentro de la tienda, sin embargo, no existía manera de medir y validar nuevas iniciativas para solucionar este problema.

Como siguiente problema se encontró el manejo de rutas y de velocidad. Dentro de la tienda el departamento de logística tiene tiempos bastantes certeros para las entregas a las zonas ya conocidas, tiempos que muchas veces diferían de la operación habitual de los camiones dentro de la tienda. Se encontraron quejas de los ayudantes comentando que la velocidad de los camiones era muy baja, con el objetivo de conseguir realizar menos viajes al día. Las rutas muchas veces se alteraban con el mismo objetivo. Se necesitaba entonces medir en tiempo real los tiempos de entrega y de retorno para poder así evaluar si la discrepancia

se debía a algún problema eventual o a un mal manejo de rutas y del camión.

Por último, encontramos un mal manejo de responsabilidades para la solución de problemas con clientes. Al reportarse una queja los datos de la persona que había cargado dependían de la honestidad del personal, a los cuales se les cobraba en ocasiones la diferencia del material. Esto dificultaba el manejo de responsabilidades ya que muchas veces no se sabía qué persona había cargado el camión para la entrega de la cual se tenía queja.

Teniendo en cuenta todos los problemas encontrados surge el proyecto que finalmente se llamó "Firma y monitoreo de materiales de construcción", en donde se buscaba un sistema que podía alertar a un cliente si su producto podía haber sido alterado durante el viaje y dar visibilidad en tiempo real al departamento de logística para poder así optimizar sus procesos en tiempo real, permitiendo un mejor manejo de responsabilidades con el personal.



### 4.1. Objetivo general

Optimizar procesos de logística en materiales de construcción a través del monitoreo y generación de información en las entregas de tienda (ProgresoLabs).

### 4.2. Objetivos específicos

- Implementar sistema de sensores para asegurar calidad de los productos a través de la implementación de una firma electrónica por parte del bodeguero detectando el sellado de la palangana del camión al salir de tienda asegurando así por el bodeguero que el producto va completo y con la calidad esperada.
- Implementar sistema de sensores para medir tiempos de entrega y retorno a tienda a través de la detección de variaciones de la palangana del camión (abatimiento de las paredes) y confirmaciones por el encargado de bodega (al salir de tienda) y el encargado de logística (al regresar).
- Implementar sistema de sensores para calcular tiempos de descarga de materiales de construcción tomando el tiempo desde el abatimiento de las paredes de la caja del camión en el lugar de entrega hasta la detección de la caja cerrada al terminar de descargar el producto.
- Implementar modulo gsm para comunicación en tiempo real con departamento de logística informando tiempos medidos como el proceso en el cual se encuentra el camión al salir de tienda.
- Adecuar sistema propuesto a camiones de 5 toneladas de palangana y entornos constructivos.

- Implementar sistema de sensores para asegurar al cliente estado del producto entregado a través de señalización lumínica que indique que la palangana del camión no se ha abierto desde que salió de la tienda.
- Implementar sistema rfid para identificar personal encargado de cargar cada camión y de llevar seguimiento de procesos logísticos tanto para la salida de tienda como del retorno.

## 5.1. Logística

Dentro de una empresa las funciones de marketing como de producción juegan un papel muy importante siendo muchas veces el centro de atención. La operación sin embargo no es tan simple para muchos giros de negocio en donde existen otras áreas que atender como contabilidad, tráfico, innovación, entre otras como áreas de apoyo. Es importante entonces reconocer actividades desde que se produce un producto hasta que llega a donde está la demanda ya que este tipo de actividades tienen impacto en la eficiencia y eficacia como en las estrategias de marketing. [1]

La logística entonces comprende todos los procesos dentro de una empresa para gestionar sus inventarios. Estos procesos comprenden desde el almacenamiento, manejo de inventarios y distribución tanto interna como hacia los clientes. La logística existe entonces para atender a la demanda coordinando el inventario, el medio de distribución y el cliente siendo costo-eficientes. [2]

## 5.2. Sensores

Dentro del avance tecnológico para poder procesar variables y tratar información se necesitan incluir variables físicas. La mayoría de estas variables no tienen propiedades eléctricas que se puedan incluir directamente a los sistemas electrónicos es por esto por lo que se necesita un tipo de “traductor” que permita la conversión de variables no eléctricas en variables eléctricas, a este “traductor” se le denomina sensor. Existen en el mercado distintos tipos de sensor como lo son los de proximidad, temperatura, infrarrojo, humedad, velocidad, etc. De una manera un poco más conceptual los sensores son dispositivos que, al estar en un medio constante o variable genera una señal variable con alguna característica del medio. [3]

El sensor como término único hace referencia al dispositivo que hace la medición, sin

embargo, un sensor debe ir acompañado de un circuito de acondicionamiento de la señal. Este circuito ya sea amplifica, filtra, corrige o convierte la señal para poder ser una señal adecuada para la parte del procesamiento. Estos dos elementos juntos se denominan “Sistema sensor”. Si un sistema sensor fue construido para trabajar en condiciones de un entorno industrial como temperatura elevada, polvo, humedad, etc. Estos sistemas sensores se denominan “sensores industriales”. En estos el encapsulamiento es distinto, preparado para soportar condiciones previamente mencionadas. [3]

Los sensores se pueden categorizar de distintas maneras. Pueden ser activos o pasivos, su señal de salida puede definir si son analógicos, digitales o temporales, si tienen rango de medida o valores de todo o nada, si son discretos, integrados o inteligentes y por el tipo de variable medida. Estas clasificaciones ayudan a decidir sobre el tipo de sensor según su aplicación. [3]

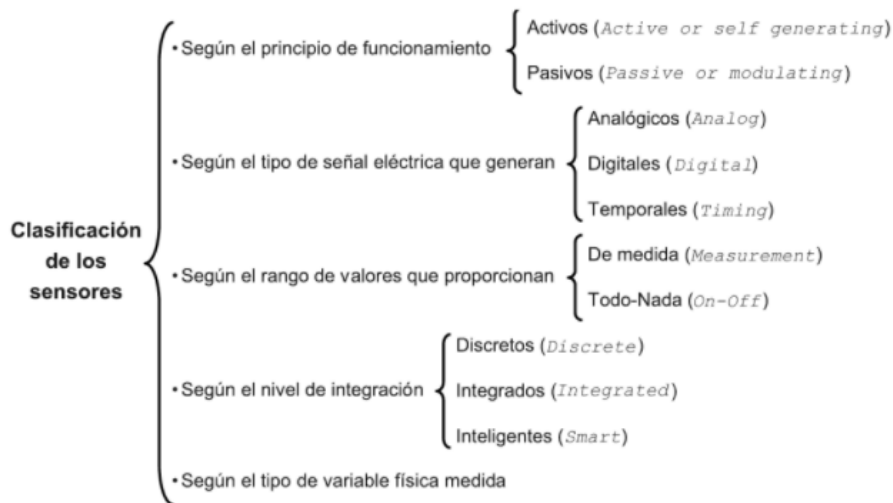


Figura 1: Clasificación de sensores

### 5.3. Microcontroladores

Dentro de los productos electrónicos cotidianos es muy probable encontrar un microcontrolador. Este dispositivo tiene una unidad aritmético-lógica, memoria y una serie de entradas y salidas. Se crearon con el fin de cumplir con tareas específicas a un menor costo. Los microcontroladores están empaquetados a un chip capaz de computar la información generando entradas y salidas. [4]

Al adquirir un microcontrolador hay varias características a considerar. La primera son los recursos de entrada/salida que el microcontrolador posee, estos recursos se deben adecuar al proyecto a trabajar con el fin de poder ser lo suficientemente capaz de computar las variables del entorno como de brindar la información requerida del microcontrolador. Otras características para considerar son la precisión y la memoria de cada microcontrolador. [4]

## 5.4. Comunicación SMS

El servicio de mensajes cortos (SMS) es un elemento de comunicación bidireccional de la red GSM. Este servicio sirve principalmente para compartir texto con una limitante de hasta 160 caracteres de 7 bits. Este servicio se emplea desde una estación móvil hasta una o varias estaciones. [5]

Con la evolución de las redes los mensajes SMS pueden llegar a convertirse en un chat y hasta en mensajes de voz e incluso incluir anexos. Dentro de la red GSM que es donde se origina el uso de SMS se tienen dos redes trabajando en simultaneo en donde una red trabaja específicamente para llamadas y la otra para envío y recepción de datos (SMS principalmente). [6]

## 5.5. Placa de circuito impreso

Las placas de circuitos impresos (PCB) se utilizan para la conexión de componentes en aplicaciones electrónicas. Estas placas constan de caminos o “tracks” presentes en varias capas de la placa. Los diseños electrónicos se han vuelto más complejos a lo largo de la última década, lo que ha provocado que se encuentren nuevos requerimientos de diseño. Podemos ver cambios en los agujeros de los componentes, los cuales se hacen cada vez más pequeños, podemos ver cómo existen vías (agujeros que unen distintas capas) ciegas, micro vías y una tendencia a una manufactura amigable con el ambiente. La conectividad de componentes es necesario para que el circuito presente la función deseada. En un principio se cableaba a mano, haciendo soldadura de punto a punto. Este proceso era tardado y poco eficiente para la implementación de un circuito haciendo necesario un equipo más compacto y pequeño. De esta necesidad se crean las placas de circuitos impresos en donde se provee tanto la estructura para montar los componentes, así como las conexiones necesarias entre ellos. [7]

Con el desarrollo a los PCBs se encuentran varias ventajas evidentes. El arreglo de los componentes se reducía considerablemente junto con su el peso que esto conllevaba antes. La producción era menos costosa haciendo el proceso de conexión más fácil. Se reducían las capacitancias en las conexiones. Se reducían también la cantidad de errores humanos haciendo menos probable los corto circuitos y los errores en el cableado. [7]

Las partes principales de un circuito impreso son la base y los conductores. La base generalmente es un material aislante que puede ser rígido o flexible, esta tiene como fin dar la estructura para sostener todos los componentes que se quieren conectar. Los conductores son generalmente de cobre de alta pureza en forma de caminos (pequeños cables) que se unen a los componentes del sistema para dar tanto conectividad como el punto de fijación del componente a la placa. [7]

El término “impreso” en este tipo de placas proviene de la manera en la que se generan las placas. Este tipo de producto muchas veces involucra procesos como impresión de papel fotográfico que después se traslada a la placa, lo cual se usaba comúnmente para imprimir dibujos o frases. Como métodos actuales se puede observar la fabricación de placas por procesos de fresado parecidos a los usados en la madera con el método CNC. [7]



Uno de los puntos más importantes a considerar es el entorno constructivo, la humedad (al transportar arena o pedrín) y el polvillo (para cemento, cal y predosificados) están presentes en la mayoría de las entregas de materiales de construcción. El primer paso es definir qué tipo de sensor es el indicado para estas aplicaciones, para esto se puede probar el tipo de tecnología en sensores no industriales sometiéndolos a entornos a pequeña escala con polvillo y humedad y definir que tipo de sensor es el más robusto. Para esta parte también se hizo un benchmark (si existiese) de aplicaciones similares.

Una vez definida la tecnología a utilizar se propuso el arreglo indicado para lo camiones de palangana. El arreglo de sensores dentro de la palangana del camión debe ser el indicado para brindar un dato confiable como para no afectar la operación normal de carga y descarga de productos, para esto se tomarán en cuenta todos los tipos de carga/descarga de los camiones de ProgresoLabs (observación en el sitio) para así determinar las posiciones dentro de esta.

Posteriormente se definieron los sensores específicos para las aplicaciones planteadas en la tesis, para esto se consultó con los proveedores con los que se pueda trabajar (importándolo o con proveedores locales). Para este paso se consideraron varios sensores validando características de energía y durabilidad para el entorno constructivo. Teniendo todos los parámetros definidos con los componentes específicos se procedió al desarrollo del modelo a escala para determinar la lógica a implementar, así como los requerimientos de energía. Para este paso se intentará desarrollar la lógica necesaria como diseñar el sistema de conexión hacia el sistema eléctrico del camión con el fin de tener la información pertinente incluso cuando el camión este apagado (sin afectar el funcionamiento normal).

Validando el modelo a escala junto con el sistema de alimentación se procedió a ver el empaquetado de sensores como del posicionamiento del microcontrolador y antenas. Los contenedores de los sensores deberán ser adecuados para posibles golpes de los materiales como a las condiciones anteriormente mencionadas, el cableado debe ser el adecuado para

establecer la conexión con el microcontrolador dentro de la cabina. Como último paso es la implementación del sistema dentro del camión. Para esto se instaló con los parámetros definidos en todos los procesos anteriores. Para asegurar el funcionamiento correcto del sistema implementado se harán varias entregas midiendo los tiempos manualmente y validando la lógica en la implementación final. Se documentó para cada paso descrito anteriormente tanto los intentos exitosos como los fallidos. Para esto se documentó con fotos y videos todo el proceso.

Como finalidad de este proyecto se intenta recomendar la generación de datos inexistentes en tiendas de grupo Progreso del transporte para procesos de logística de materiales de construcción a nivel nacional. Esto con la finalidad de alimentar proyectos ya existentes dentro de otras áreas de Progreso definiendo de una manera más concreta los parámetros importantes para su análisis en un proceso logístico. Se intenta validar también si la satisfacción de los clientes de este mercado aumenta con un indicador de calidad así como de posibles estrategias postventa. Para esto último se presentaron los datos generados a departamentos de marketing de la empresa validando la habilitación de estrategias postventa.



---

### Reacción de tecnologías a ambientes constructivos

---

Para validar la naturaleza de los sensores a utilizar se debieron poner a prueba los tipos de tecnología considerados para el proyecto (ópticos, sonoros y de inducción). Para esto se construyeron distintos tipos de palanganas en madera para poder así medir la detección de las compuertas abiertas o cerradas bajo la presencia de polvo o de humedad. Esto se realizó con sensores no industriales con la finalidad de no incurrir en gastos innecesarios con estas pruebas.

Para la generación del modelo a escala de las palanganas se midieron las compuertas de los camiones de la tiera. Con estos datos se hicieron relaciones parecidas en madera con el fin de que fuera viable para la colocación de los sensores así como para representar de una manera coherente el comportamiento de los camiones.



Figura 2: Camión de 5 toneladas

Para este camión en específico se encontraron las siguientes medidas:

Atributos	
Largo	457
Ancho	203
Alto	41

Cuadro 1: Medidas de palangana en centímetros

Teniendo en cuenta estas medidas se construyó la palangana de madera con las siguientes dimensiones:

Atributos	
Base	60X33
Puertas laterales	60X5
Puerta trasera	29X5

Cuadro 2: Dimensiones modelo a escala en centímetros

Tomando en cuenta las dimensiones mencionadas se acudió a una carpintería en donde se trabajaron las piezas en madera. La madera utilizada fue de un grosor de 3/4 de pulgada. Posteriormente se unieron las piezas usando bisagras para poder simular el movimiento de las puertas del camión tanto para la prueba de los sensores como posteriormente la lógica que se implementaría. Como resultado se tuvieron 3 palanganas de madera a las cuales se adaptarian los sensores para su posterior validación.



Figura 3: Modelo de prueba de sensores

## 7.1. Sensores considerados

Para la etapa de pruebas se contaron con los siguientes sensores no industriales:

- Switch magnético MC38.
- Sensor ultrasónico HC-SR04
- Sensor infrarrojo HW-201
- Sensor LJ18A3-8-Z interruptor inductivo de proximidad



Figura 4: Switch magnético MC38



Figura 5: Sensor ultrasónico HC-SR04

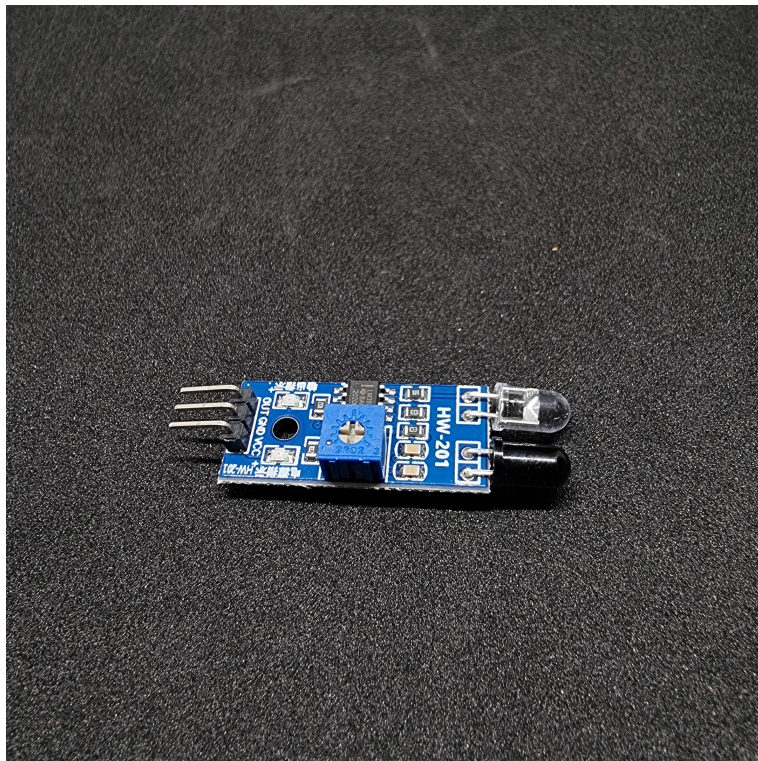


Figura 6: Sensor infrarrojo HW-201



Figura 7: Interruptor inductivo LJ18A3-8-z

## 7.2. Resultados de las pruebas

Para llevar a cabo las pruebas de los sensores se manejaron dos pruebas principalmente. La primera fue una prueba de humedad y la segunda una prueba de polvillo en donde se utilizó polvillo de cemento para poder analizarlo con la partícula más probable a encontrar. Se tomó la decisión de que al ser un dato discreto el que se buscaba se adaptaría cada prueba a un led que se encendiera o apagara según el nivel de detección que se tenía de las puertas del camión. Cabe resaltar que para el sensor inductivo no se utilizó el mismo modelo de prueba ya que por la naturaleza tenía que ser un material metálico. Este sensor incorpora en un led de detección que permitió probarlo sin ningún led adicional.

Durante las pruebas se humedecieron los receptores como los emisores (en el caso del infrarrojo). En esta prueba se encontró que la humedad para distancias cortas no interfería de manera significativa en los sensores sin resaltar ninguno con respecto al otro. La mayoría de pruebas con humedad arrojaron un dato coherente con la detección de las puertas.

En cuanto a las pruebas del polvillo se notó cómo los sensores ultrasónicos e infrarrojos mostraron deficiencias. Algunos datos de estos tipos de sensores se percibieron erróneos, en cuanto a los sensores inductivos y magnéticos se notó una superioridad sin importar que tan sucio se encontrara.

De esta manera se pudo concluir que estos dos tipos de sensores (magnético e inductivo) eran los que mejor se acoplaban al proyecto. Estos sensores mostraron precisión para detectar el estado de las puertas del camión sin importar la humedad y los restos de polvillo de cemento que se pudieran percibir.

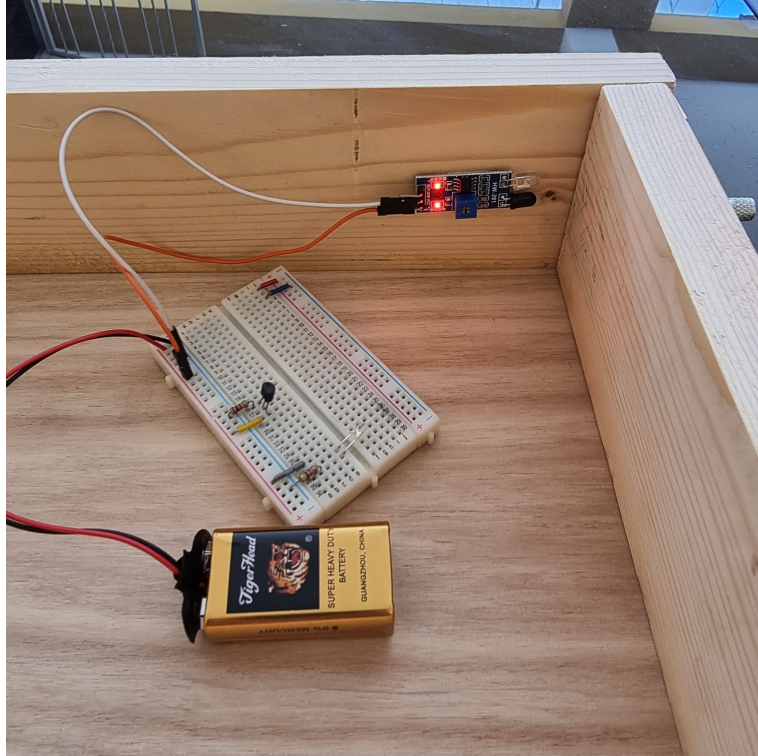


Figura 8: Sensor infrarrojo sin polvillo

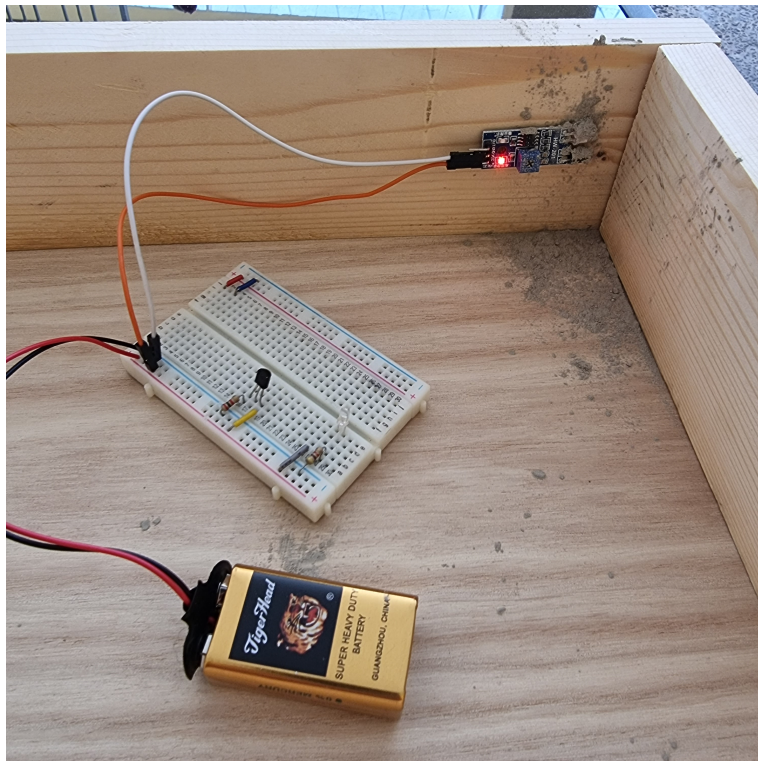


Figura 9: Sensor infrarrojo con polvillo de cemento



Figura 10: Switch magnético con polvillo puerta abierta

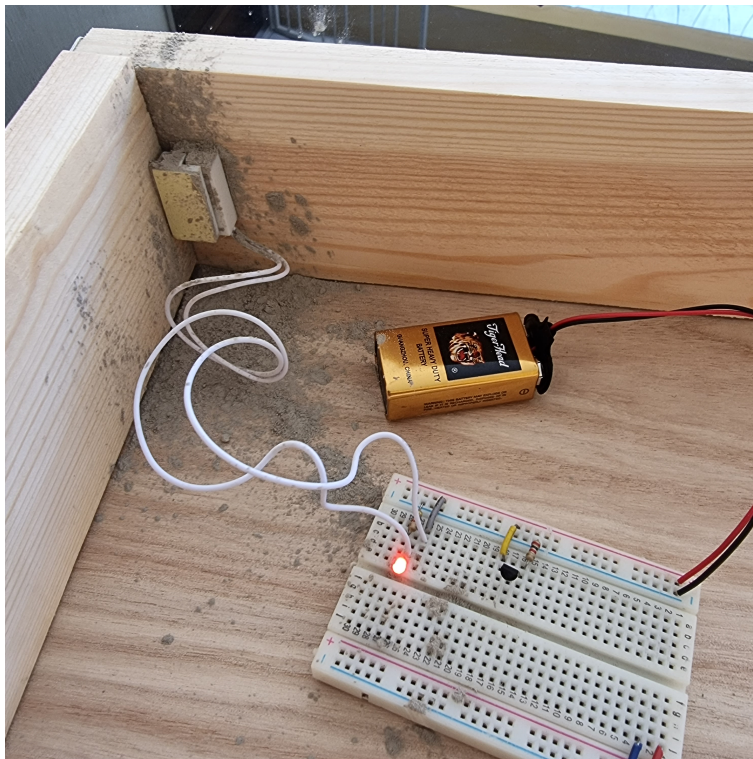


Figura 11: Switch magnético con polvillo puerta cerrada



Figura 12: Sensor inductivo sin polvillo



Figura 13: Sensor inductivo con polvillo



---

## Arreglos de sensores propuestos

---

Para este proyecto se consideraron dos arreglos principales de sensores para detectar estado de las puertas. El primer arreglo consta solamente de dos sensores y el segundo arreglo constaría de 3 sensores. Los dos arreglos se consideraron para detectar cuando cualquiera de las 3 puertas se abriera.

### 8.1. Arreglo de 3 sensores

Para este arreglo se consideró un sensor por puerta. Se planteó la idea de instalar 2 sensores del lado de la cabina que detectaran el estado de las puertas laterales y un sensor abajo de la puerta trasera que permitiera medir cuando la puerta estuviera abatida. Estos 3 sensores deberían regresar como 3 entradas digitales al arduino para detectar el estado de cada una de las puertas.

#### 8.1.1. Ventajas

- La instalación sería fija evitando el desgaste por movimiento de las puertas.
- En una fase futura se podrían generar datos de que puertas específicamente se abren al descargar el camión.

#### 8.1.2. Desventajas

- Aumento en costo del sistema

- El proceso de instalación se complicaba al tener 3 lugares distintos de instalación así como instalación adelante y atrás de la palangana.
- Dependencia con la puerta de atrás de un movimiento completo al abrir

### **8.1.3. Posibles problemas**

- Falsas lecturas con la puerta trasera
- Desgaste puede predominar en un sensor
- Módulo de acople de sensor más complejo

## **8.2. Arreglo de 2 sensores**

Este segundo arreglo consta solamente de dos sensores instalados en la puerta trasera de la palangana. Cada sensor apuntaría a una de las puertas laterales de manera que cualquier puerta que se abra se detectaría un cambio de estado. Este arreglo fue el implementado en el sistema final.

### **8.2.1. Ventajas**

- La instalación de los sensores es más simple por la unión de alimentación (de ser necesaria una alimentación al sensor)
- La instalación se centra en una parte del camión evitando cortar lámina en múltiples lugares.
- Ahorro en costo de un sensor.
- Reducción de lecturas falsas.

### **8.2.2. Desventajas**

- Movilidad en cables al sensor, desgaste acelerado.

### **8.2.3. Posibles problemas**

- Dificultad al instalar para reducir movilidad del cable.

---

### Sensores considerados

---

Luego de las pruebas realizadas con los sensores se consideraron switches magnéticos y sensores de proximidad inductivos. Se consideraron varios modelos de cada uno tomando en cuenta que el objetivo del proyecto pueda ser replicable para el resto de cadenas Construfacil facilitando el acceso a repuestos y fabricación del sistema.

En cuanto a los switches magnéticos se consultaron a varios proveedores locales obteniendo productos muy parecidos al MC38. Estos switches presentan el inconveniente de que el material que los recubre es muy sencillo para el tipo de operación del camión así como con los actores con los que interactúa (montacargas, tarimas, piedrin, etc.). Con proveedores internacionales se encontraron switches con recubrimiento en apariencia un poco más resistente con aleaciones de zinc y metal.

Un ejemplo de los switches magnéticos encontrados en proveedores internacionales es el SM-4601-L3Q. Este es un switch con recubrimiento de aluminio a prueba de agua. Las dimensiones para este producto eran de largo 3 pulgadas, de ancho 2 pulgadas y de profundidades 0.5 pulgadas. El problema encontrado con este tipo de sensores fueron las dimensiones. Al ser de las dimensiones anteriormente descritas si el switch quedaba solo montado en la palangana existía una posibilidad alta que con el uso normal del camión los sacos de cemento o predosificados se rompieran debido a la manera de carga de los mismos, esto exponía a que algunas entregas tuvieran merma de productos a causa del sistema lo que complicaría la implementación del mismo. Los demás sensores encontrados tienen especificaciones de tamaño muy similares. Si se consideraba que el sensor podía quedar instalado dentro de las puertas de la palangana el problema era el hecho de cortar tanta lamina de los camiones en todas sus puertas para la implementación de un prototipo que aún se tenía que validar. Esto dejaba entonces una posibilidad más grande a corrosión y a costos elevados en la reparación de todas las puertas si el prototipo no se validaba.



Figura 14: SM-4601-L3Q

En cuanto a los sensores de proximidad inductivos se encontraron opciones con proveedores locales. Estos sensores presentaban características muy similares de empaquetado y tenían que ser instalados en la puerta trasera de la palangana. Esta instalación presenta sin duda un corte en la lámina de una puerta y una fijación con algún adhesivo o montura especial.

## 9.1. Modelos considerados

### 9.1.1. MC38

El módulo MC38 mencionado anteriormente en el capítulo de Reacción de tecnologías fueron considerados para su implementación en el camión. Se consideró utilizar este tipo de sensores con algún recubrimiento que permitiese que estuviera cubierto de golpes ante la carga y la descarga del camión. Este sensor funcionaría como un interruptor directo al circuito del microcontrolador.

Se probaron varios recubrimientos sin embargo la mayoría de estos causaba o interferencia con la lectura de los datos o el problema de tamaño mencionado anteriormente. En cualquiera de los dos casos interfería con el funcionamiento del sistema. La última opción con este tipo de sensor era implementarlo sin ningún recubrimiento dejando una instalación que estuviera apta al cambio rápido de los mismos cuando fuera necesario.



Figura 15: Módulo MC38 con recubrimiento metálico

### **Ventajas**

- Costo bajo
- No necesita alimentación externa
- Funcionamiento a 5 voltios (proporcionados por microcontrolador)

### **Desventajas**

- Probabilidad a romperse alta.
- Instalación poco duradera.
- Cable de módulo muy rígido para lugar de instalación (movilidad).

### **Posibles puntos de dolor**

- Cambios de sensor muy rápidos.
- Difíciles de instalar por posibles rupturas al atornillar a la palangana.

### 9.1.2. LJ18A3-8-Z

El sensor utilizado para la implementación de la tesis fue el LJ18A3-8-Z. Este es un sensor inductivo de proximidad. Se alimenta con voltajes de 6 a 36 voltios. Para adaptar este sensor se tuvo que implementar un circuito de acople que permitiera conectar el sensor al microcontrolador.

Para este sensor la instalación se consideró tanto externa a la puerta como dentro de la misma. Para esto se adaptó un niple de acero junto con una tapadera para el mismo. El niple se cortó a la medida del sensor y se pegó con poxipol comprobando que el funcionamiento del mismo fuera el correcto. El corte del niple se realizó con una cierra circular y el agujero del tapón con una broca de cobalto obteniendo como resultado un recubrimiento efectivo para el sensor. Al ser un niple se tuvo una superficie circular que disminuiría el riesgo de corte en los sacos de cemento.



Figura 16: Sensor de proximidad inductivo cubierto con niple de acero

#### Ventajas

- El sensor se compone solo de una pieza.
- Detecta directamente material de la puerta.
- Se puede alimentar directamente de una o las dos baterías del camión.

#### Desventajas

- Requiere un circuito de acople.
- Costo más grande a comparación de MC38.

- 3 cables por sensor.

### **Posibles puntos de dolor**

- Dificultad de instalación por alimentación separada.
- Detección de materiales de acero alrededor al colocar el sensor en puerta.





## Selección de microcontrolador

Para este proyecto se seleccionó como microcontrolador el Arduino Nano. Este microcontrolador presenta una dimensión pequeña lo cual facilita el diseño para la instalación del sistema dentro de cabina. Encontramos un puerto microusb que permite que sea de fácil conexión y escritura para las modificaciones pertinentes al escalar el proyecto.

Al ser un microcontrolador Arduino cuenta con librerías que favorecen al proyecto. SoftwareSerial es una librería que permite tener comunicación serial usando puertos digitales y de esta manera poder comunicarse con distintos módulos. Esto brinda una ventaja significativa al proyecto el cual cuenta con el módulo rfid y con el módulo gsm cuyas comunicaciones se manejan de manera serial. De la misma manera encontramos la librería MFRC522 que facilita la comunicación con el módulo RFID proporcionando agilidad en la lógica tabajada.

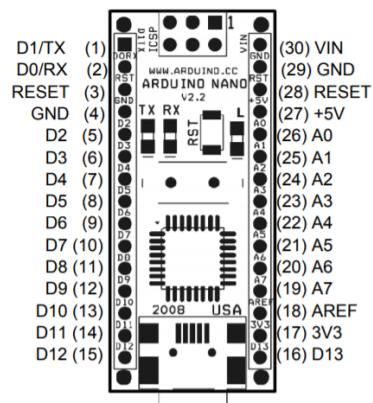


Figura 17: Pines arduino nano

## 10.1. Características

El arduino nano tomando en cuenta los pines ya mostrados tiene las siguientes características:

Pines	Descripción
1-2,5-16	Entradas y salidas digitales
3,28	Reset
4,29	Tierra
17	Salida de 3.3 Voltios
18	Referencia ADC
19-26	Entradas analógicas
27	Entrada/Salida de 5 Voltios
30	Voltaje de entrada

Cuadro 3: Descripción de pines Arduino Nano

8

En cuanto a las especificaciones técnicas para el arduino nano encontramos lo siguiente:

Característica	Descripción
Procesador	ATmega328
Voltaje de operación	5 Voltios
Memoria Flash	32KB
Velocidad del reloj	16MHz
Corriente puertos entrada/salida	40mA
Consumo	19mA
Tamaño en PCB	18 x 45mm

Cuadro 4: Especificaciones técnicas Arduino Nano

9

## 10.2. Proveedores y precio

Una característica importante en la toma de decisión del microcontrolador fue la disponibilidad y el precio. Para este microcontrolador se encontraron varios proveedores con precios distintos dependiendo del controlador USB incorporado y de las partes con y sin soldar. En esta tabla se muestran los arduinos con los pines soldados tanto con el controlador CH340G como con el controlador FT232RL.

Proveedor	Producto	Precio
Electrónica DIY	Arduino Nano V3+Cable	Q63.00
Steren	Arduino Nano V3	Q120.00
La Electrónica	Arduino Nano V3 CH340	Q68.00
	Arduino Nano V3 FT232RL	Q99.00
Electrónica Rych	Arduino Nano V3	Q68.00
Electrónica BP	Arduino Nano V3 CH340	Q85.00

Cuadro 5: Proveedores y precios

En cuanto a las diferencias del controlador afecta en los cambios al ser replicables. Por defecto el software de Arduino reconoce el controlador FT232RL; sin embargo, con el controlador CH340 es necesario instalar un driver desde la computadora que cargará el código al microcontrolador. El funcionamiento es el mismo y para fines de ejecución del proyecto cualquiera de los dos microcontroladores puede ser implementado sin cambios en el diseño ni en el código.



Para el modelo a escala se utilizaron las palanganas de madera anteriormente construidas para la validación de tecnología del sensor. Estas palanganas de madera se desarrollaron junto a un esquemático que sería el final, siendo solo las pruebas de lógica en el modelo a escala. Este modelo permitió visualizar el funcionamiento del sistema antes del circuito de acople de los sensores, tomando en cuenta la programación del Arduino, la comunicación GSM y la identificación de tarjetas de radiofrecuencia. Para lo que se propusieron los módulos con los cuales se iban a obtener cada una de las funcionalidades anteriormente descritas.

## 11.1. Modelo propuesto

### 11.1.1. Comunicación GSM

Para la comunicación GSM se tuvieron que definir dos aspectos principales. El primer aspecto era la compañía con la que se iban a prototipar las pruebas y la segunda el módulo encargado de la conexión entre la red y el arduino.

Con respecto a las pruebas el prototipo comenzó utilizando la red de comunicación Claro. En protoboard esta red funcionó de una buena manera, sin embargo los paquetes prepago para prototipar la solución no eran favorables considerando que la solución tenía que validarse antes de comprar un plan específico para la solución. Se cambió de compañía por conveniencia utilizando la red Tigo. Al cambiar de red se pudo percibir cómo el grosor del cable a utilizar es importante ya que la conectividad resultaba un poco más complicada dando error en el módulo, error que posteriormente se identificó como error de portencia por el cable utilizado.

El módulo encargado del intercambio de datos con el arduino fue el módulo SIM800L

EVB. Este módulo posee una interfaz serial TTL que facilita la conexión con microcontroladores. El módulo consta de una antena y se alimenta directamente de la fuente de voltaje (no del microcontrolador). Este módulo funciona con los comandos ".AT" de SIMCOM.

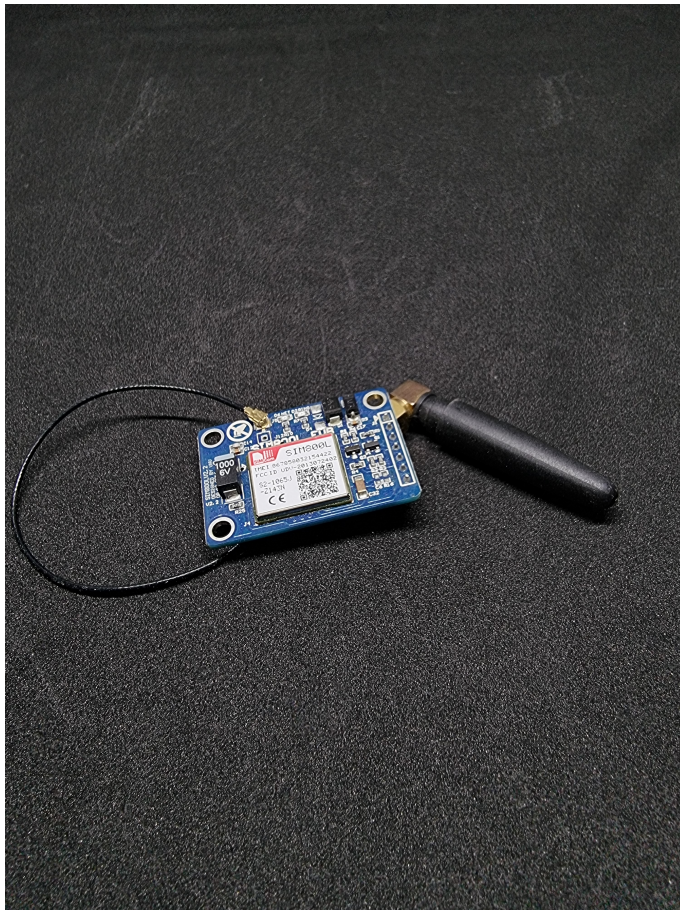


Figura 18: Módulo SIM800L V2

### 11.1.2. Identificación RFID

La tecnología definida para la identificación del bodeguero se decidió que fuera una identificación RFID. Esto para facilitar el proceso de firmado reduciendo así tiempos empleados en el sistema por parte de los verificadores, de esta manera cada verificador tendría una tarjeta RFID con la cual podría validar la carga del camión. Esta identificación puede funcionar tanto con una tarjeta como con un tag RFID.

Para poder identificar las tarjetas de los bodegueros y el encargado de logística se utilizó el módulo MFRC522. Este módulo sirve tanto como lectura como para escritura de identificadores por radiofrecuencia. Las tarjetas que se pueden utilizar con este sensor son los que cumplen con la normativa ISO14443A. Este módulo puede ser alimentado directamente del Arduino enviando los datos leídos a través de comunicación SPI. El módulo tiene especificada un área de contacto que debe estar de cierta manera expuesta para que el bodeguero y el encargado de logística aproximen su tarjeta. El rango de lectura según pruebas realizadas

para la tesis es de aproximadamente 1 cm de distancia.

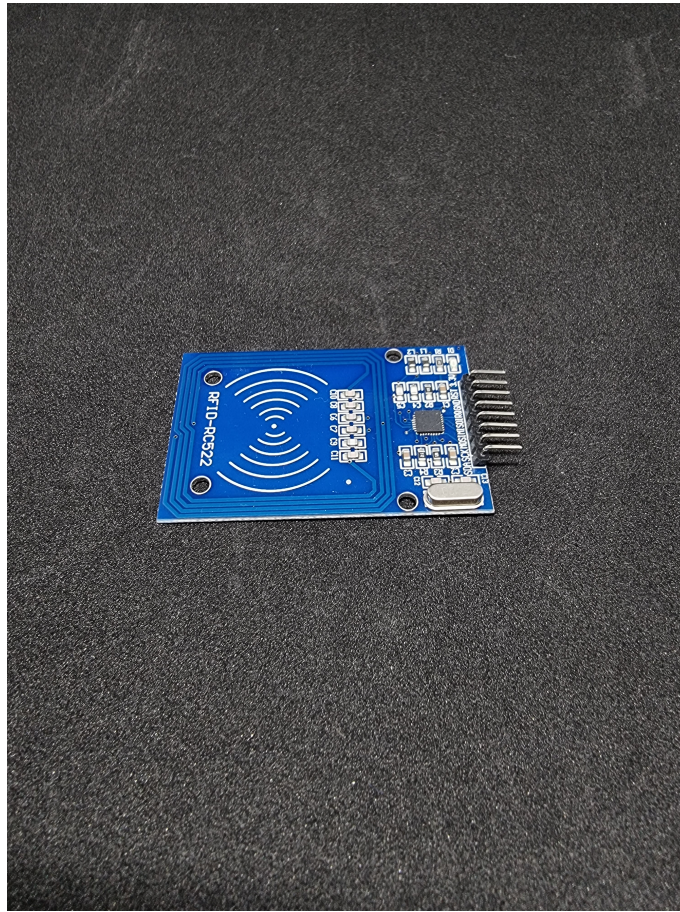


Figura 19: Módulo de identificación RFID

### 11.1.3. Alimentación

Tomando en cuenta los módulos anteriormente descritos se puede notar que se deben alimentar básicamente el Arduino y el módulo SIM800L V2 (para el diseño PCB). El módulo de identificación por radiofrecuencia puede ser alimentado por el arduino de igual manera que el resto de componentes.

Los camiones de 5 toneladas como el utilizado para este proyecto constan de 2 baterías de 12 voltios. Las baterías están conectadas en serie para poder brindar 24 voltios a luces y otros componentes del sistema eléctrico del camión. La alimentación al sistema planteado tiene que ser ajena al sistema del camión, esto quiere decir que debe salir directamente de las baterías del camión. Esto se debe a que muchas veces en procesos de descarga el camión se apaga retirando las llaves, limitando así componentes como el radio, el tablero, etc. En el proceso de descarga el sistema tiene que poder seguir midiendo los tiempos de descarga como posteriormente el de retorno. La conexión con los sensores puede ser directa debido a que esta en el rango de funcionamiento de los sensores propuesto.

Para alimentar entonces al Arduino y al módulo de comunicación GSM se utilizó un convertidor buck. Para esta aplicación se consideró el convertidor LM2596, el cual permite la entrada de 4.5 a 40 voltios DC pudiendo obtener una salida de 1.37 a 37 voltios DC. Este módulo es capaz de alimentar tanto al módulo GSM cómo al Arduino y al resto de componentes (sin contar los sensores). Este dispositivo se gradúa utilizando un potenciómetro incorporado por lo que se debe ajustar antes de conectar al resto del circuito.

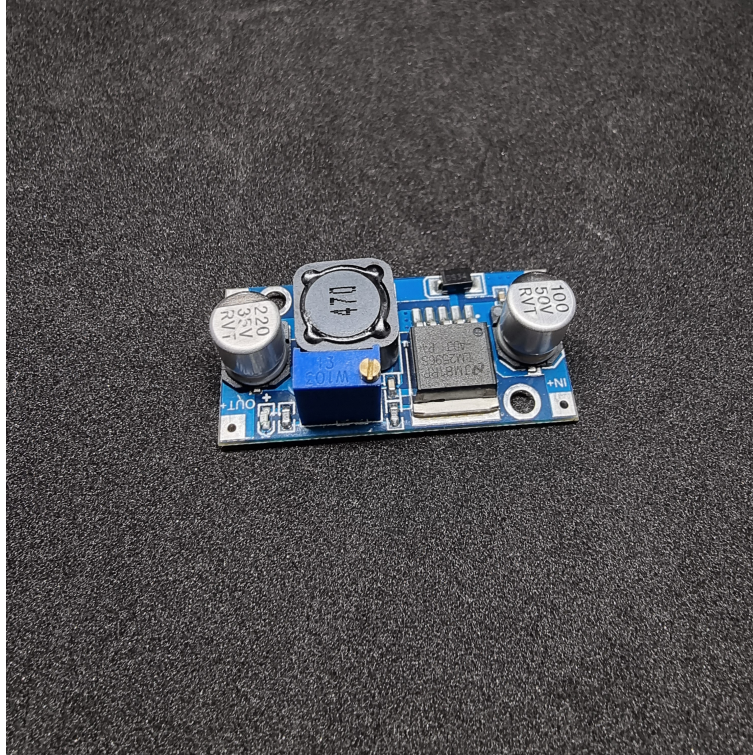


Figura 20: Módulo convertidor LM2596



### 11.1.4. Esquemático propuesto

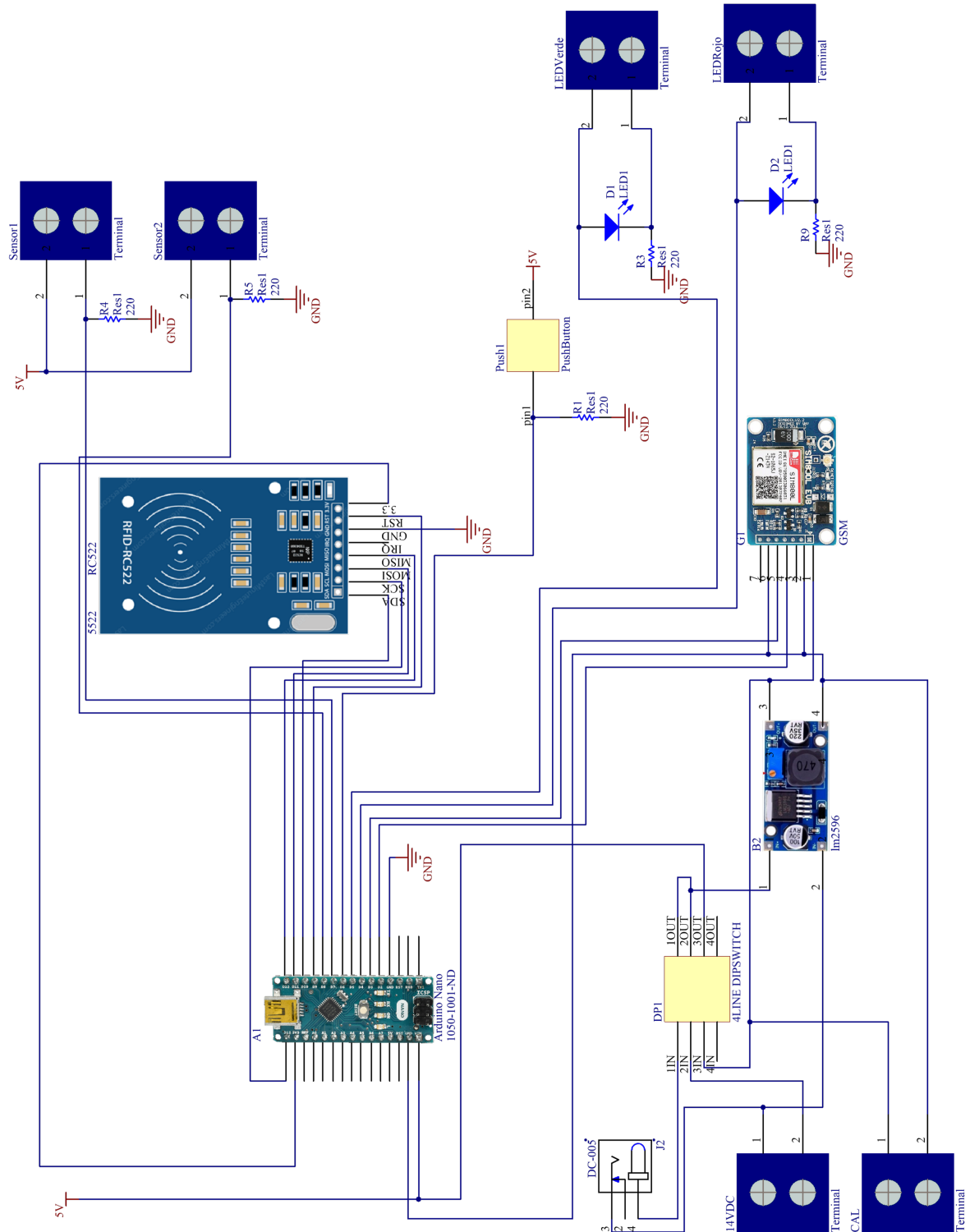


Figura 21: Esquemático

Como se puede observar en el esquemático se consideran dos tipos de alimentaciones principales. La primera es por un jack de un transformador de 12 voltios de pared y la segunda es a un puerto en donde se conectarían los cables de la batería del camión. Estas alimentaciones distintas estarían delimitadas por un dipswitch el cual determinaría qué alimentación se utilizaría y si el voltaje pasa o no al Arduino. Esta separación nos permite que en etapas posteriores se pueda probar el circuito de una manera más sencilla antes de instalar el dispositivo en el camión.

Para la comunicación GSM se utilizarían los puertos digitales 2 y 3 del Arduino. Estos puertos serían los designados para transmisión y recepción con el módulo SIM800L V2. La alimentación del módulo entonces se conectaría directo al convertidor LM2596.

El módulo MFRC522 se conectaría al Arduino en los puertos digitales del 9 al 13. La alimentación esta dada por el Arduino con el pin de 3.3 voltios y el pin de tierra.

Los puertos digitales 4 y 5 se destinan a la señalización lumínica del sistema. Uno correspondiente para la luz verde (de firmado) y otro correspondiente a la luz roja (de no firmado o de firma rota).

Los puertos digitales 7 y 8 del arduino se asignaron a los sensores (uno de cada lado de la puerta del camión). Los sensores se designaron como switches por lo que el módulo de acople tiene que considerar que la señal de salida debe ser abierto o cerrado.

En el diseño del esquemático se consideró un botón de reinicio (pin digital 6). Este botón serviría para las pruebas, para poder interrumpir el proceso de ser necesario.

El diseño contiene la terminal "CAL" la cual posteriormente servirá como un método de calibración del regulador. Esta parte del esquemático es importante ya que servirá en etapas posteriores del proyecto para medir la salida del convertidor y así hacer que sea pertinente para el sistema.

### 11.1.5. Diagrama de flujo

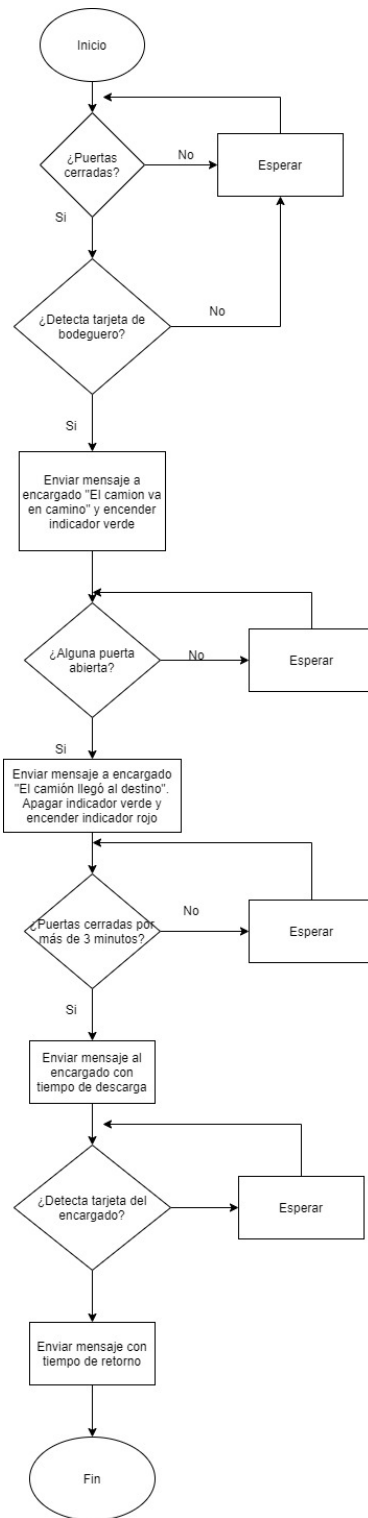


Figura 22: Diagrama de flujo para un ciclo

### 11.1.6. Librerías utilizadas en código

Para la implementación de la lógica en el proyecto se utilizaron dos librerías ajenas a la sintaxis normal de Arduino. Estas librerías permiten la comunicación con el módulo GSM como con el módulo de identificación RFID.

Las librerías adicionales utilizadas son las siguientes:

- SoftwareSerial: Librería para comunicación serial con cualquier puerto digital.
- MFRC522: Librería para comunicación con módulo RFID.
- SPI: Librería necesaria para comunicación con módulo RFID.

Para consultar el código completo consultar anexos.

### 11.1.7. Conexiones en protoboard

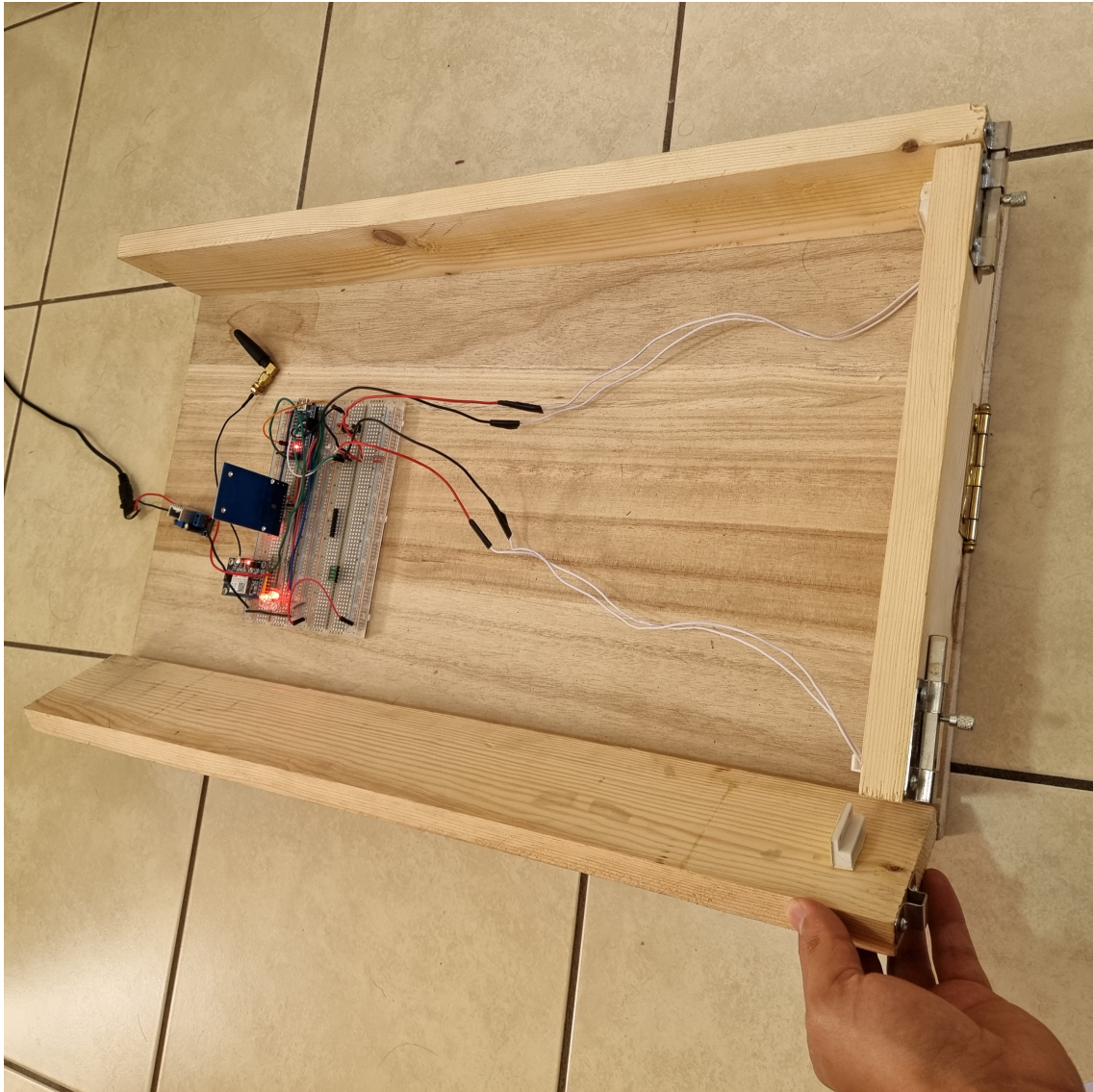


Figura 23: Ensamble completo modelo a escala

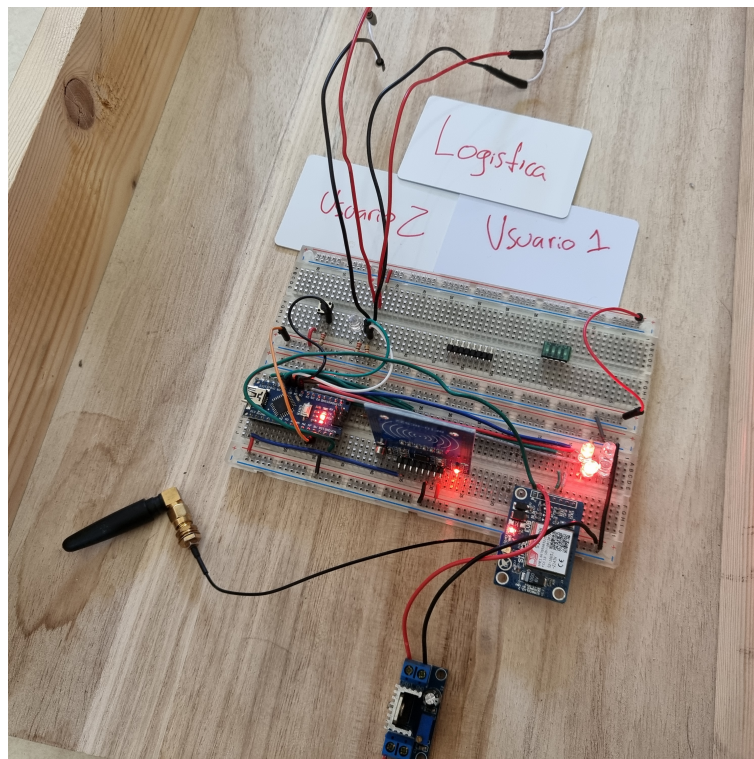


Figura 24: Sistema en protoboard sin firma

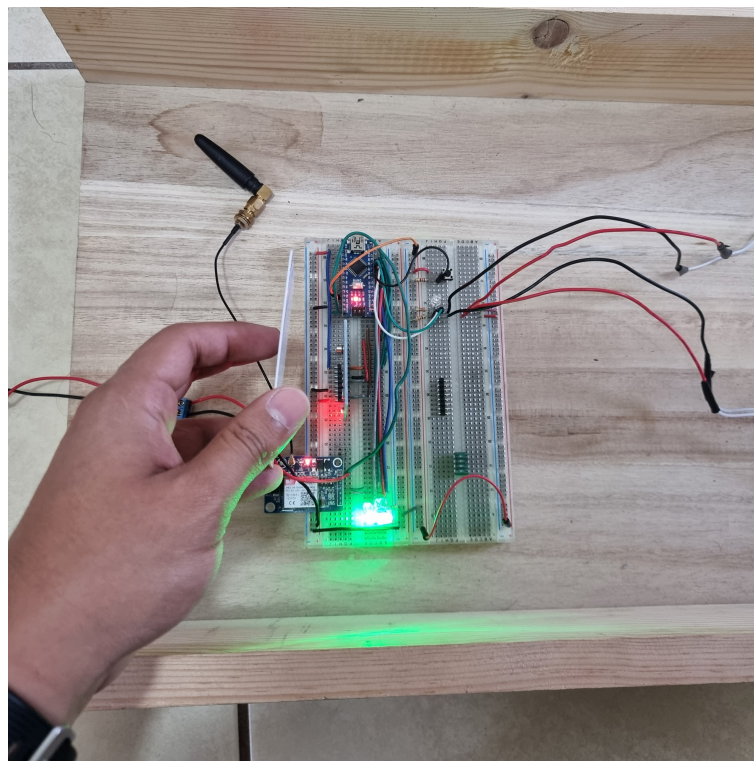


Figura 25: Sistema en protoboard con firma

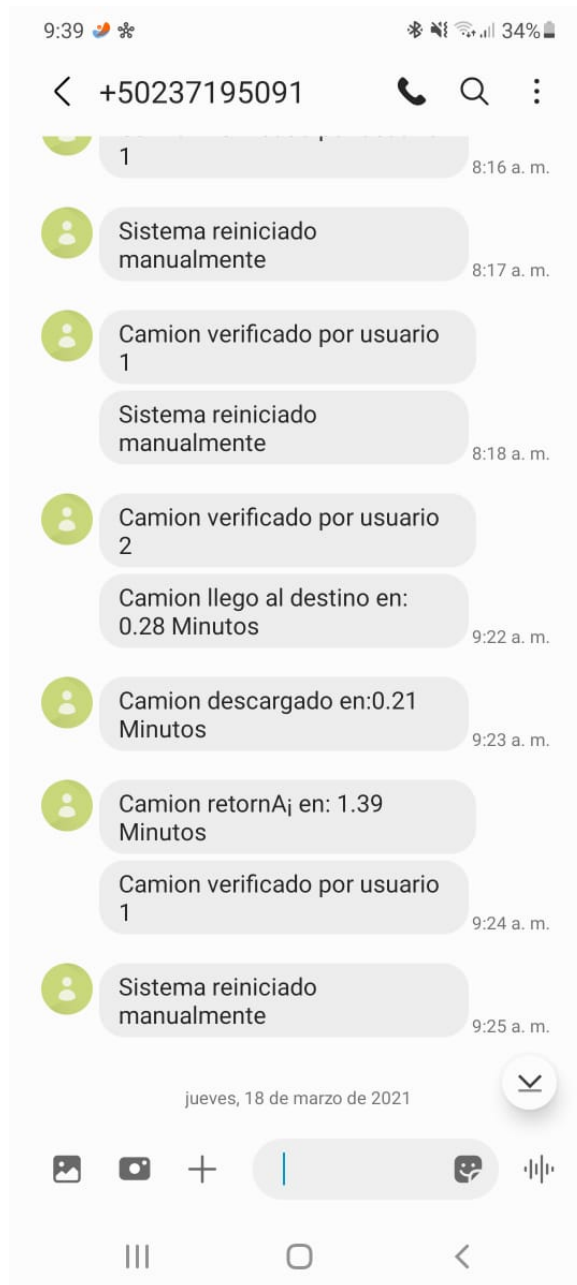


Figura 26: Mensajes recibidos en modelo a escala

## 11.2. Errores encontrados

La cantidad de errores fue mínima en el ensamblaje del modelo propuesto. El error principalmente radicó en la alimentación del módulo GSM en donde el problema fueron los cables utilizados para conectar dicho voltaje.

- En el modelo a escala los cables tipo jumper no alimentaron de manera adecuada al módulo GSM.

### 11.3. Recomendaciones

- Considerar cambio de potencia consumida según operador de telefonía (banda utilizada).
- Monitorear transmisión de datos desde monitor serial.
- Corroborar tiempos con cronómetro manual.
- Definir de manera correcta manera de mostrar los datos (en este caso es en minutos y decimales de minuto).
- Definir de manera correcta campos a leer de los identificadores RFID (se pueden almacenar 64 bytes)
- Usar código de color para distintos componentes.
- Identificar de manera adecuada las tarjetas a utilizar.
- De usar chip prepago verificar constantemente saldo para su funcionamiento.

### 11.4. Nuevos aprendizajes

- Distintas bandas de frecuencia determinan consumo del módulo GSM.
- Identificar siempre capacidad de cables utilizados.
- Ordenar de manera adecuada pausas en el programa para no afectar lectura de tarjeta.



---

## Implementación y resultados

---

Para la implementación del sistema en el camión se trabajó en la producción del circuito, el empaquetado y el acople. Con el esquemático descrito se generó un diseño de PCB que después se produjo en el MakerLab del departamento de electrónica de la Universidad del Valle de Guatemala. Se diseñó el circuito de acople y se cortó en láser una caja que pudiera contener el circuito para su instalación en el camión.

### 12.1. Diseño PCB circuito principal

Debido a las dimensiones de la cabina del camión y la falta de espacio para instalar un sistema se determinaron ciertos parámetros para diseñar el PCB. El parámetro principal fue el tamaño, se determinó que el mejor lugar para posicionar el sistema de manera que fuera accesible para que los bodegueros y el responsable de logística pudieran registrar sus identificadores de radiofrecuencia era el tablero de la cabina. Este tablero generalmente es angosto y con espacio limitado para agregar un dispositivo de este tipo. El tamaño seleccionado para este sistema fue de 10x10 centímetros, de esta manera la caja no sería tan grande.

El PCB consideró la capa de arriba como la de abajo de la placa. En dichas placas se estableció que el ancho de los tracks sería de 35 mils con el fin de proporcionar el ancho suficiente para una corriente de hasta 2 amperios. Las terminales se delimitaron a dos lados consecutivos de la placa con el fin de facilitar el cableado con el diseño de la caja. La placa contaría con un jack para conectar el transformador y probar su funcionamiento así como una terminal para la conexión a la batería del camión.

Para tener una visualización adecuada del producto final se asociaron modelos 3d a todos los módulos. Esto permitiría observar de una manera más tangible el producto final facilitando así el diseño de la caja.

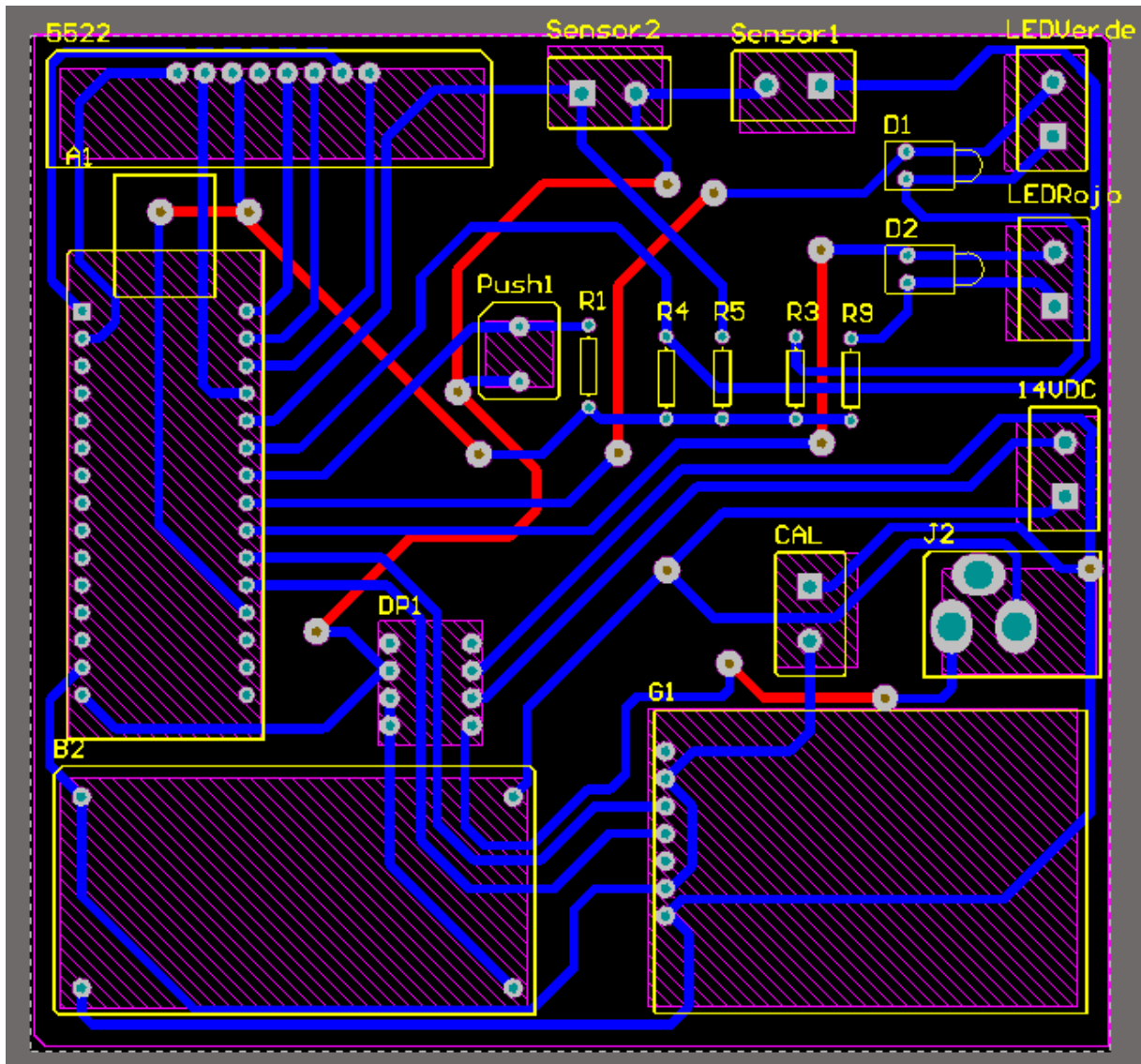


Figura 27: Diseño PCB

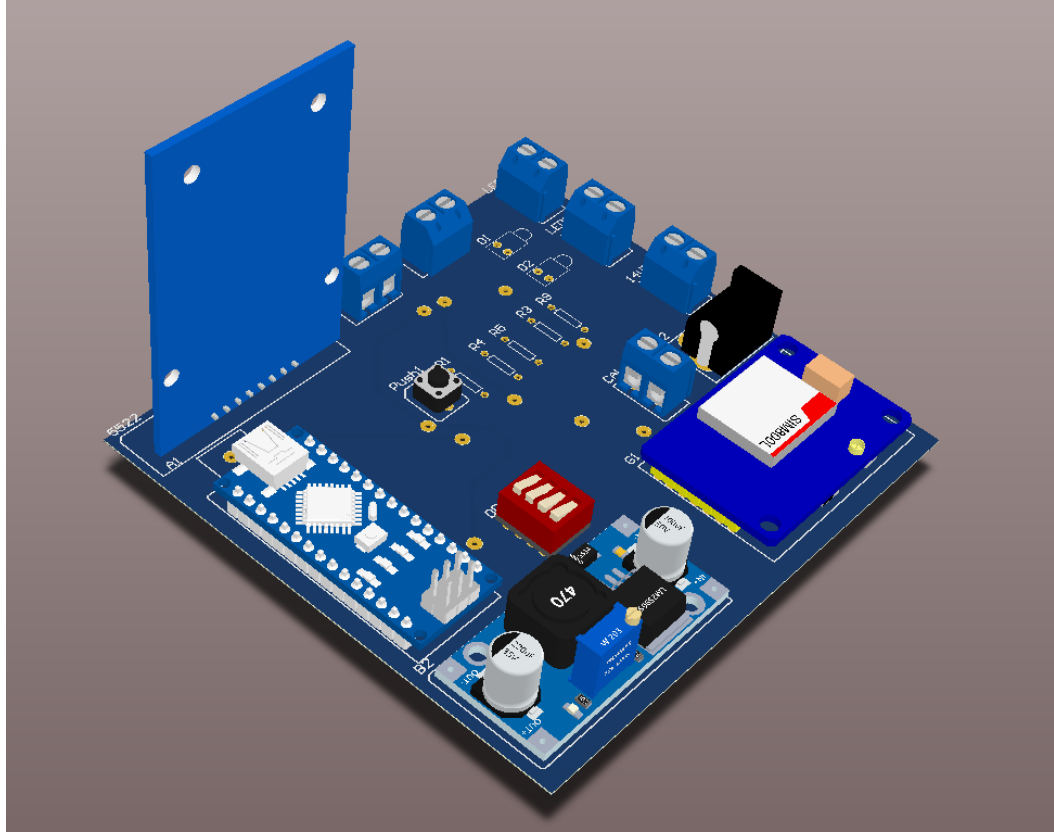


Figura 28: Modelo 3d PCB

Como se puede observar en la placa se tienen 6 terminales distintas. Dos de estas 6 terminales están destinadas a las entradas de los sensores, las cuales deberán funcionar como un switch. Dos de las terminales están destinadas como salidas (1 lógico o 0 lógico) de la señalización lumínica (luz roja y verde). Una terminal está destinada a la entrada de los cables desde la batería del camión. Por último encontramos una terminal posicionada entre los componentes de la placa, esta sirve como referencia para la calibración del sistema, se decidió colocar una terminal ya que de esta manera es más fácil tocar los tornillos de la terminal con las puntas de un multímetro y determinar de manera sencilla si el voltaje del regulador es el adecuado, de no ser así se debe modificar el valor del potenciómetro ubicado dentro del módulo regulador.

La intención del diseño es hacer la mayoría de conexiones en la capa de abajo de la placa. El uso de las dos capas dentro del diseño del pcb fue por la necesidad de conexión en donde se vio limitada la capa inferior. Se pretendió que la mayoría del diseño quedara en la capa inferior con el fin de reducir la utilización de vías. Se pueden observar de la misma manera vías que no conectan con la capa superior, esto no es un error de diseño, al ser fabricado por la fresadora de la universidad estas vías se colocaron para evitar ángulos rectos dentro de las conexiones del PCB reduciendo así errores en la fabricación.

## 12.2. Creación del PCB

Para crear el PCB se enviaron los archivos de diseño con los cuales se fabricó la placa descrita anteriormente en el MakerLab de la universidad. Las vías se cablearon con pedazos de cable de protoboard y en componentes como el Arduino, SIM800L y MFRC522 se soldaron pines macho-hembra para permitir el cambio rápido de estos componentes (en el caso del Arduino y SIM800L) así como el posicionamiento adecuado dentro de la caja (MFRC522).

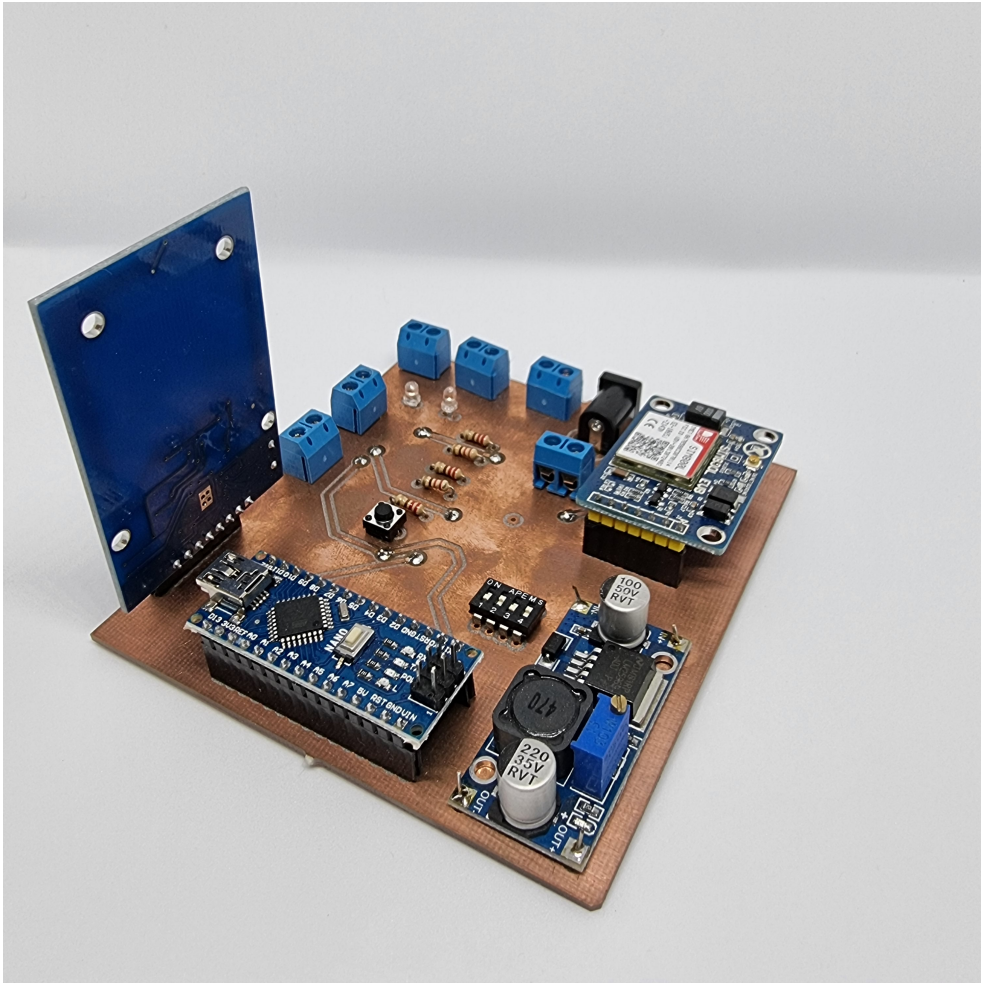


Figura 29: PCB final

## 12.3. Circuito de acople de sensores

Para acoplar los sensores a la señal requerida por parte del PCB anteriormente descrito se implementó un circuito adicional. Este circuito se decidió dejar por fuera ya que observando los camiones que interactúan con la tienda se pudo notar que algunos camiones (no los propios de ProgresoLabs) tienen en sus puertas componentes de madera o de otros materiales no ferrosos por lo que se consideró que en otras tiendas Construfácil (para una fase posterior a este proyecto) se tendría que evaluar el tipo de transporte que poseen para la selección de

los sensores adecuados.

Considerando que los sensores seleccionados y el rango de alimentación se decidió utilizar relés de 12 voltios. Los sensores se alimentarían con una de las baterías del camión (misma batería que alimentaría la placa) facilitando así el proceso de encendido y apagado del sistema completo en las horas inhábiles del camión. Los sensores cuando detectan metal (puertas cerradas) devuelven como valor tierra, siendo cuando no detectan metal el valor de la alimentación (en este caso 12 voltios) al ser sensores con tipo de salida PNP. La señal de salida del sensor sin embargo no es capaz de alimentar un relé de 12 voltios por lo que se debe adicionar un sistema de potencia sencillo con un transistor. En este caso se utilizó un transistor 2n3904 para poder alimentar de manera sencilla los relés que deben reaccionar al sensor junto con una resistencia de 2KOhms. De esta manera el circuito debería tener una alimentación propia (la misma que los sensores), la entrada de las 2 señales de retorno de los sensores y la salida a la entrada de los sensores en la PCB. Por la naturaleza de la lógica implementada en la etapa de pruebas la salida de los relés se conectó a la normalmente cerrada, de esta manera se tendría un circuito abierto cuando no detecte la puerta y un corto circuito cuando se detecte.



Figura 30: Relé JQC-3FC(T73) utilizado



Figura 31: Transistor 2n3904 utilizado

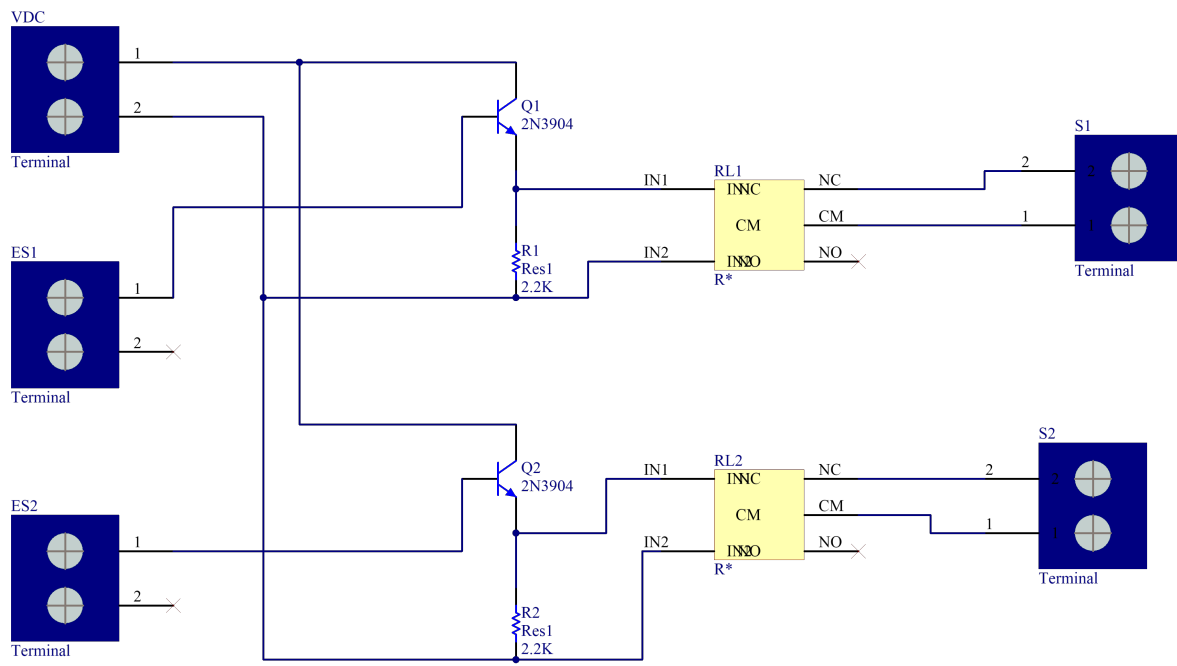


Figura 32: Esquemático circuito de acople

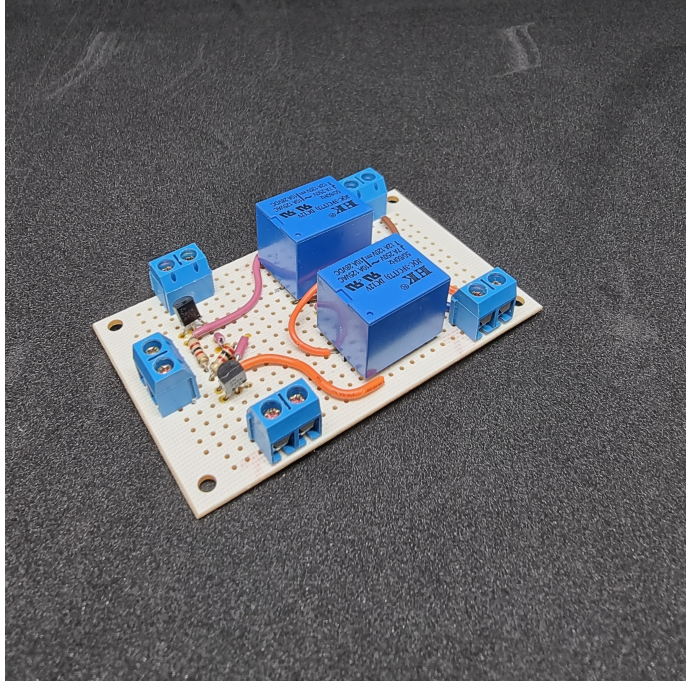


Figura 33: Circuito de acople en placa perforada

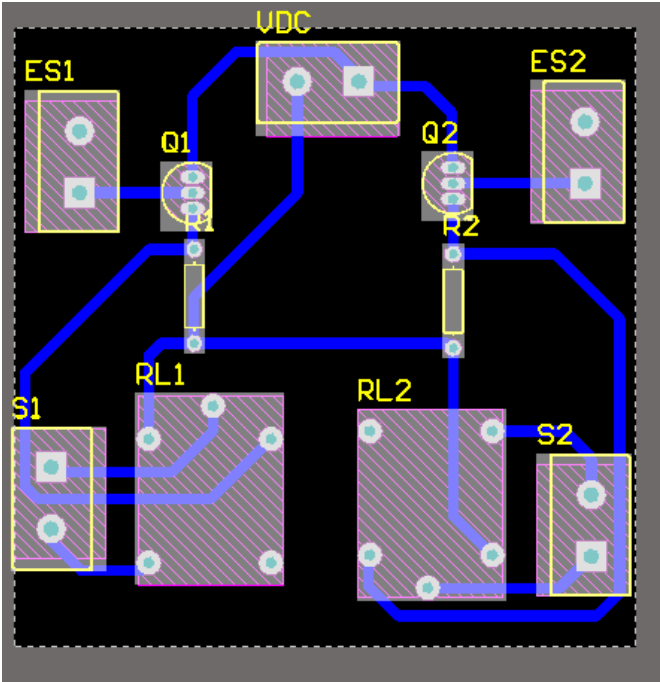


Figura 34: Diseño PCB circuito de acople

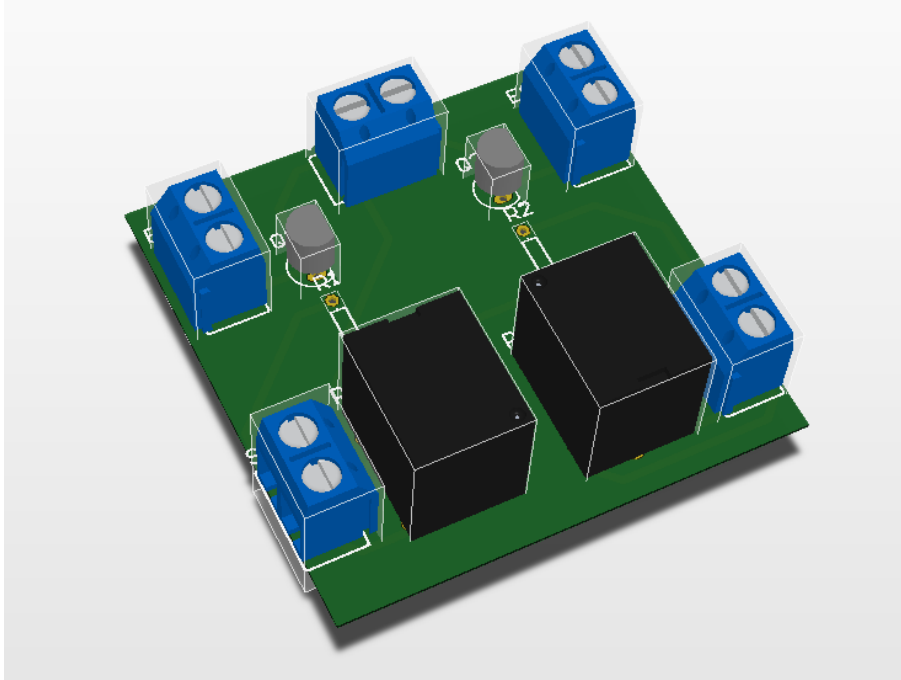


Figura 35: Diseño 3d circuito de acople

Con el fin de una implementación rápida se propuso un esquemático el cual se plasmó en una placa perforada. Con esta placa perforada se probó el funcionamiento de los sensores con la placa principal del proyecto y se utilizó para la primera validación del sistema en el camión. El resultado fue el esperado teniendo un funcionamiento óptimo con el resto del sistema.

Con el fin de que fuere un circuito compacto y fácil de instalar se planteó utilizar para el diseño una placa de 5x5 centímetros. En esta sólo se utilizó la capa inferior con tracks de 35mils para tener robustez en la implementación. Tanto la placa perforada cómo el diseño propuesto consideran 5 terminales (en el mismo orden). La terminal superior presenta la alimentación del circuito (12 voltios). Las terminales de los lados se colocan para las entradas de las señales del sensor, en estas terminales el único pin que tiene utilidad es el inferior (tomando los relés como la parte inferior), esto con el fin de diferenciar las dos etapas de potencia (una al lado izquierdo y una al lado derecho). Las terminales de abajo entonces corresponderían a las entradas de los sensores de la placa principal, cabe mencionar que estas no tienen polaridad, solo deben conectarse a la entrada correspondiente al mismo sensor.

La implementación de la placa perforada en el camión causó un poco de confusión en cuanto a la alimentación. Esto provocó un error el primer día de instalación en donde la polaridad de la alimentación fue incorrecta, quemando así los transistores cómo los sensores conectados. Este error se corrigió al día siguiente corroborando así que este circuito de acople funciona de manera correcta para la aplicación requerida.



## 12.4. Diseño caja contenedora

El primer elemento considerado para el diseño de la caja fueron las terminales. Se consideraron distintos tamaños de terminales, las cuales quedarían expuestas en la caja para la conexión hacia los sensores, alimentación y demás. Se determinó que se necesitaban 12 terminales, de las cuales 2 serían para la alimentación proveniente del camión, 2 serían la alimentación del circuito de acople y de los sensores (salidas, esto con el fin de que todo el sistema se encienda junto), 4 salidas para los sensores y 2 para la señalización lumínica (luz verde). Se consideraron terminales con tornillos en las que fuera fácil la instalación como el reemplazo de los cables utilizados. De las terminales encontradas (ver imagen siguiente) se seleccionó la de mayor tamaño considerando la manipulación requerida al instalar.



Figura 36: Terminales consideradas para caja

Como siguiente paso se consideraron las dimensiones de la caja. Para esta se seleccionaron dimensiones de 11x15 cm tomando en cuenta el largo de las terminales como el tamaño del PCB. Estas dimensiones permitirían un buen posicionamiento sobre el tablero para que el cliente pueda ver incluso la señalización lumínica del PCB así como para los actores del sistema al presentar su tarjeta RFID.

Otro aspecto importante a considerar fue el nombre del sistema así como el logo que

se colocaría (con fines de ser un proyecto de innovación más de ProgresoLabs). El nombre seleccionado fue "VD Lab" el cual significa "Vision Delivery" ya que el objetivo principal del proyecto es dar visibilidad al proceso logístico con camiones de 5 toneladas.

La caja se diseñó con el espacio para un switch para que el sistema se pueda encender y apagar independiente al camión. De este switch salen los cables de alimentación del PCB (directo al PCB) así como los de alimentación del circuito de acople como para los sensores (cables a las terminales). De momento al ser un prototipo no se consideró agujeros en la caja para atornillar el sistema al tablero (esto representaría una reparación complicada si las validaciones no fueran favorables tanto para el sistema en general cómo para el posicionamiento del sistema).

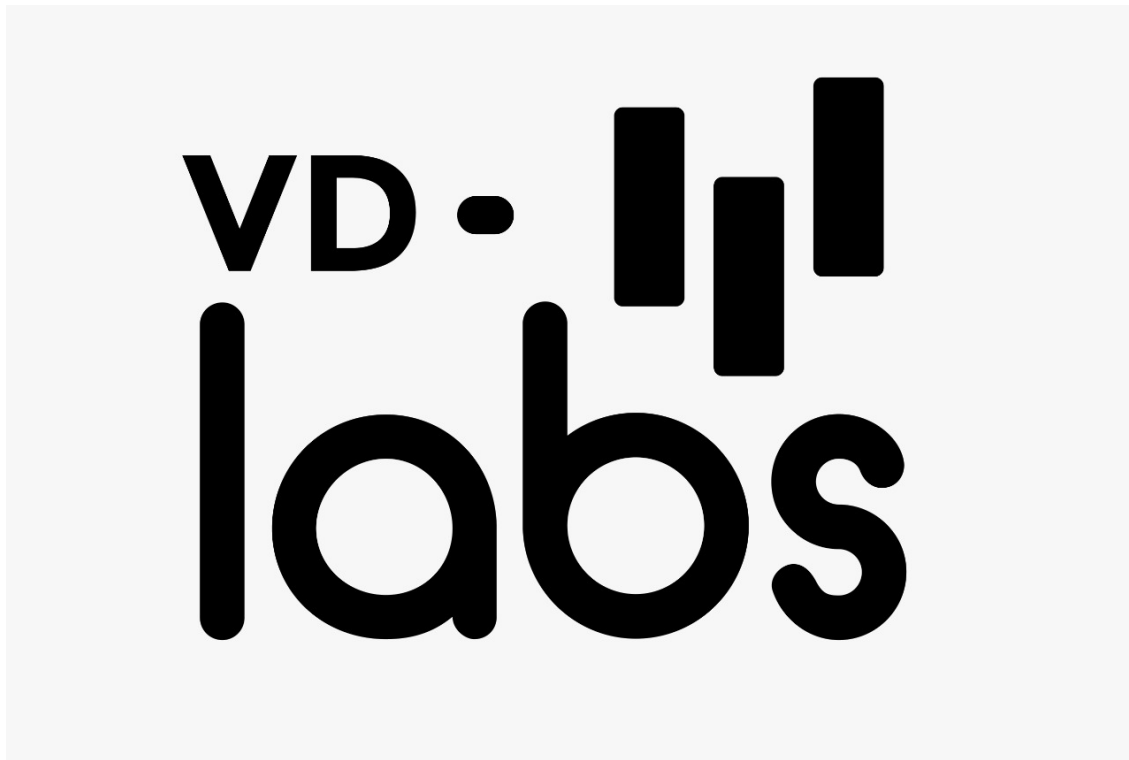


Figura 37: Logo del proyecto

Dentro del diseño de la caja se consideraron varios agujeros. El primero se consideró a un lado de la caja, siendo el agujero que se requería para que la antena del módulo GSM quedara expuesta teniendo la señal pertinente. En la parte superior se consideraron 6 agujeros, de los cuales 2 sujetarían las terminales y los otros 4 el módulo MFRC522. Se decidió que el módulo de identificación RFID quedara por la parte superior de la caja para que fuera más fácil firmar e indicar el retorno. El material seleccionado para la implementación fue acrílico de 2 milímetros de grosor. Este diseño se desarrolló en software Inkscape con el fin de que fuese utilizado por una cortadora láser para generar las piezas.

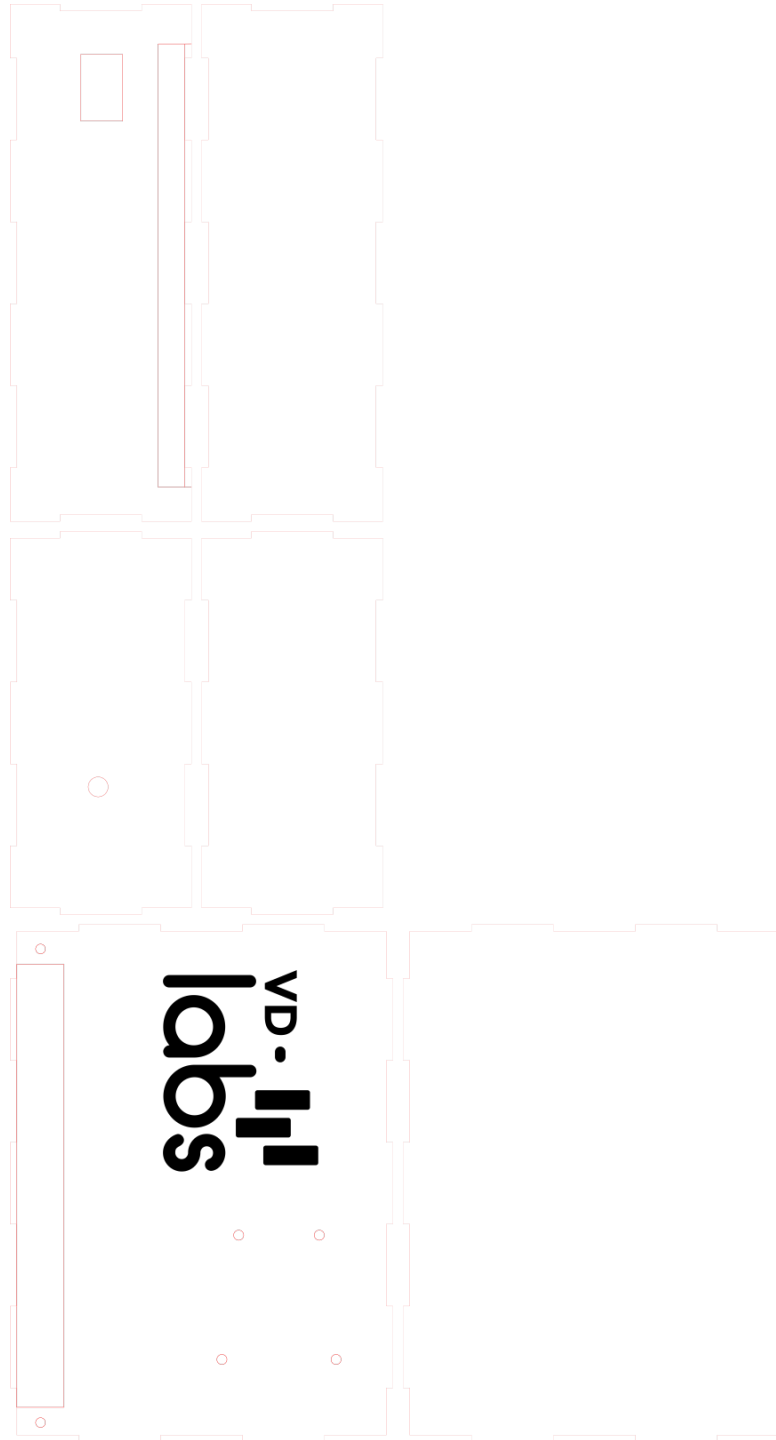


Figura 38: Diseño de caja



Figura 39: Caja sin PCB y sin switch



Figura 40: Caja totalmente armada

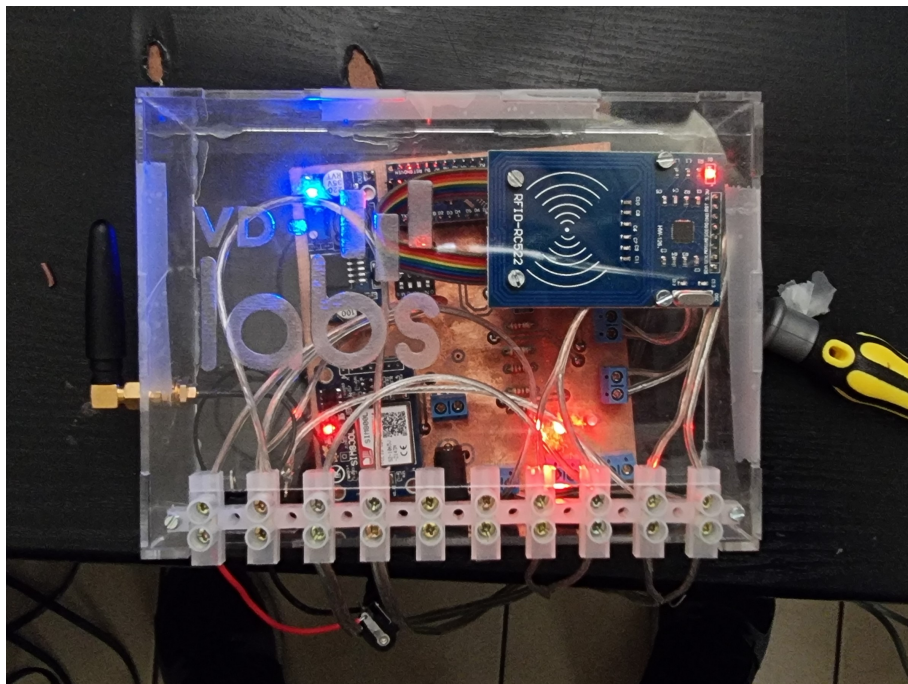


Figura 41: Caja armada sin firmar

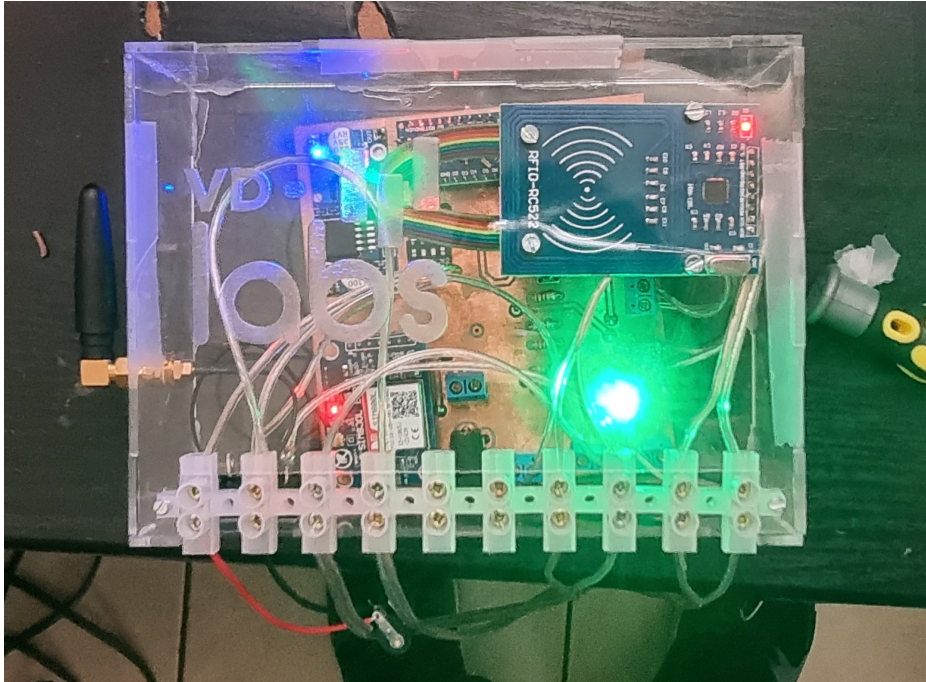


Figura 42: Caja armada con firma

#### 12.4.1. Segundo diseño de caja

Después de varias pruebas se encontraron problemas con la utilización de un switch normal. Esto por aceptación del producto dentro de los pilotos de tienda quienes de cierta manera tenían resistencia a la medición de tiempos dentro del camión. Es por esto que cómo segundo prototipo de caja se planteó la utilización de un switch con llave.

Este problema encontrado tenía antecedentes en otro tipo de proyectos. En una entrevista realizada con el jefe de logística acerca de este problema encontrado se hizo notar que este tipo de comportamiento ya había sido encontrado en algunos sistemas de rastreo GPS en donde el piloto del camión desconectaba el sistema. Es conveniente decir que como hallazgo encontrado el tiempo que impedían fuera medido era el tiempo de retorno y según la entrevista era de la misma manera en los sistemas GPS.

El switch debería plantear la misma utilidad que la planteada anteriormente. Este switch debía alimentar tanto al PCB cómo al circuito de acople del y a los sensores. Para esto se buscó un switch que se adaptara al modelo de la caja ya diseñada (por motivos de instalación) y se encontró un switch ON/Off que cumplía con lo buscado.



Figura 43: Switch con llave ON/OFF

Esto llevó también a hacer pequeñas modificaciones en el diseño de corte de la caja de acrílico. Para esto se cambió el espacio utilizado por el otro switch por un espacio circular de 12mm (diámetro del nuevo switch) y se cortó nuevamente para poder hacer el segundo prototipo.

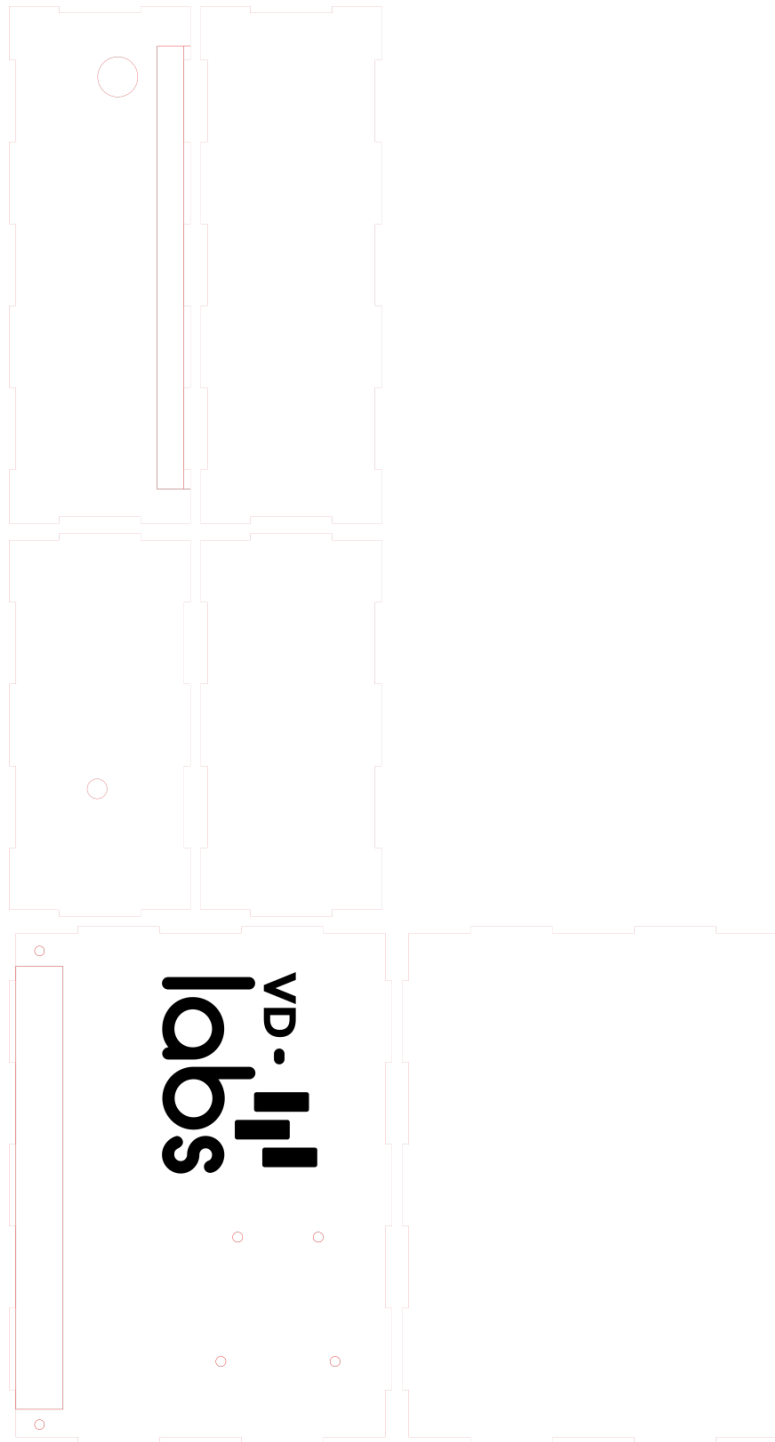


Figura 44: Segundo diseño de caja



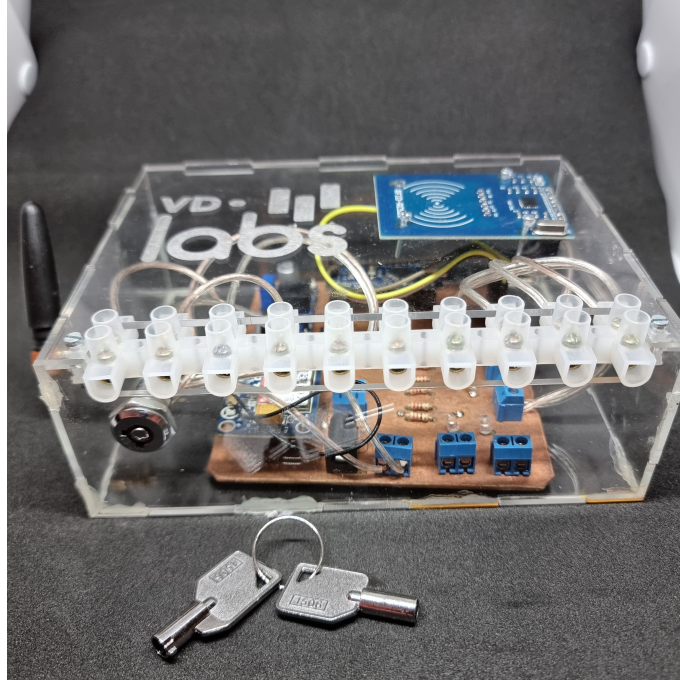


Figura 45: Prototipo 2 ensamblado

## 12.5. Instalación

### 12.5.1. Sensores

Para el proceso de instalación primero definió la manera de conexión de los sensores. Al ser la misma alimentación se llevaron dos cables de alimentación siguiendo el código de color de los sensores (azul tierra y café 12 voltios). Las dos salidas de los sensores regresaron en el mismo conjunto de cables con dos cables de color negro, estos al no ser necesario determinar el lado de la puerta no tuvieron distinción alguna. Para ser instalados los sensores se cortó la lámina de la puerta trasera insertando el sensor cubierto con el niple de acero. La manera de adherir el sensor dentro de la puerta fue con Poxipol gris el cual es una soldadura plástica. los cables fueron por dentro de la puerta saliendo cerca de la bisagra izquierda de la puerta para volverse a introducir al camión por un agujero en la base. Estos cables fueron soldados para evitar un falso contacto así como empalmados con cinta aislante (para filtraciones de agua) y un protector de tela con adherente para reducir posibles golpes por el movimiento de la puerta.



Figura 46: Colocación de sensor

Antes de colocar el Poxipol se verificó el funcionamiento del sensor. Con una batería de 9 voltios se alimentó al sensor para que junto con el led incorporado se verificara que el material metálico que lo rodeaba no causaba ruido en la medición de las puertas. Una vez teniendo la referencia del material de alrededor se colocó poco adherente con el fin de cerrar la puerta y verificar la lectura con las puertas cerradas, todo esto utilizando el led incorporado al sensor y una batería de 9 voltios.



Figura 47: Soldadura plástica sensor



Figura 48: Cable puerta-base

Una vez el conjunto de cables por debajo de la base del camión se trasladaron hasta la cabina. Para esto se utilizaron cinchos plásticos para fijar el conjunto de cables a la base del camión protegiendolos de quedar expuestos así como no hacerlos visibles para el resto de personas.

### 12.5.2. Batería

Para la conexión de la batería se cableó de nuevo desde la palangana hacia la cabina. Las baterías de los camiones utilizados se ubican por debajo de la palangana justo atrás de la cabina. En esta parte de la palangana se instaló un fusible de 10 amperios para carro a los cables que salieron directamente de la batería (esto por cualquier corto que se pudiera presentar). Aquí los cables de alimentación se unieron con los cables de los sensores y se llevaron hasta la cabina en donde ya se separaron los cables hacia el circuito de acople y el PCB. Para identificar la batería a utilizar se utilizó un multímetro para medir las terminales de cada una.



Figura 49: Instalación de cables a cabina

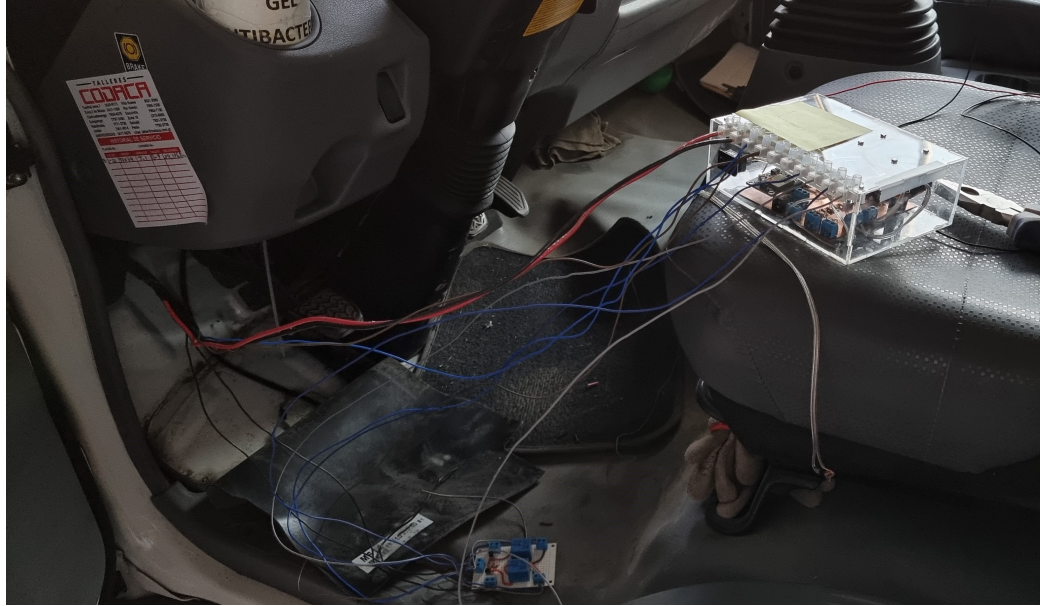


Figura 50: Primera prueba de conexión en cabina

### 12.5.3. Circuito de acople

Para el circuito de acople se cablearon todos los elementos de la caja. Una vez teniendo el cableado completo se procedió a conectar la alimentación, con esto, se pudo probar manualmente el funcionamiento de los relés. Se conectaron entonces los datos de los sensores y se probó sin conectar al PCB. Una vez verificado el funcionamiento del circuito con los sensores ya se procedió a conectar la salida de los relés a la caja principal. Los cables se cubrieron con material aislante y se fijó el circuito al lado izquierdo de los pedales sin quedar visibles ni propensos a golpes. El circuito y los cables se fijaron con cinchos plásticos.

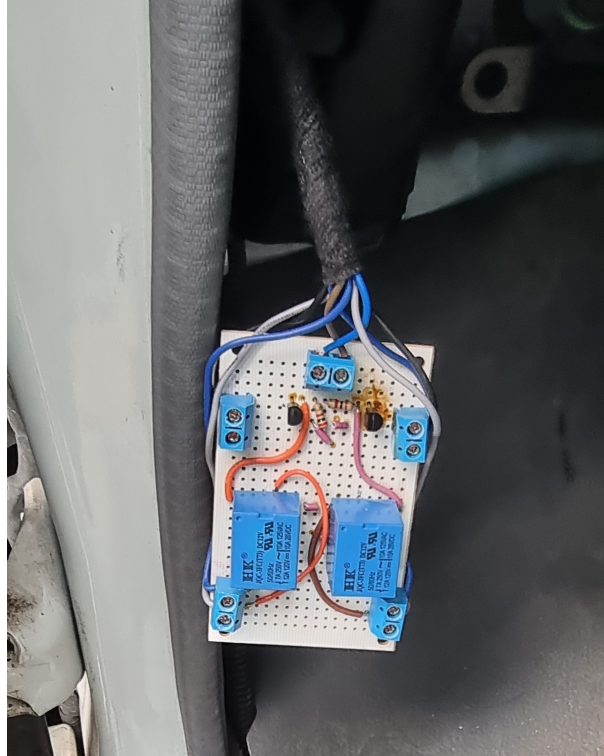


Figura 51: Instalación circuito de acople

#### 12.5.4. Fijación de caja

Una vez obtenidas todas las conexiones con sus respectivas pruebas se conectó el sistema completo. Para esto se colocaron los cables del lado derecho del tablero con material aislante negro para dar una apariencia ordenada así como para proteger el conjunto de cables. Se probó el funcionamiento del sistema completo y se procedió a fijar con adhesivo doble cara sobre el tablero (esto con el fin de que no fuera tan difícil la manipulación de necesitarse algún cambio). De esta manera el dispositivo quedaría visible al cliente a través de la ventana del camión, pudiendo observar los indicadores directamente de la caja.



Figura 52: Instalación final

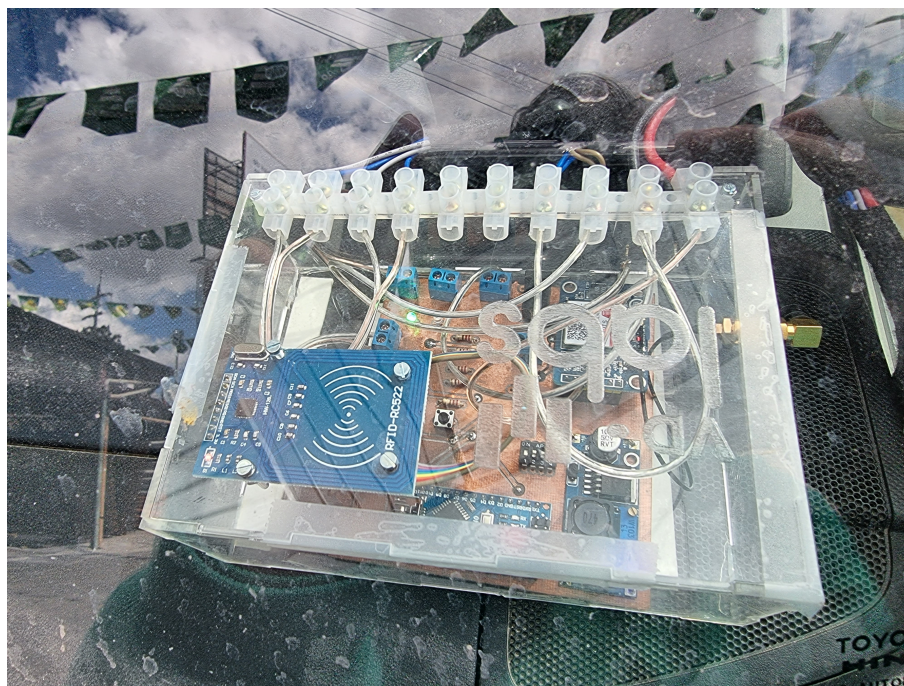


Figura 53: Instalación final vista por fuera del camión

### 12.5.5. Pruebas

Para probar el funcionamiento correcto del camión se hicieron varios viajes con productos distintos. Se eligieron rutas relativamente cortas para poder hacer pruebas rápidas y con distintos productos. Para las pruebas se transportaron productos como piedrín, arena, cemento y alambre de amarre. Los sensores no sufrieron ningún daño por las condiciones de los materiales ni por las condiciones meteorológicas. Los tiempos fueron certeros y la detección de la puerta fue pertinente en todos los casos. La transmisión de mensajes fue efectiva logrando así dar visibilidad del proceso logístico.

Se entrevistaron a los clientes involucrados en los viajes. Estos expresaron que si bien el indicador de firma era conveniente para ciertos proveedores, el sentido de urgencia por descargar el producto y utilizarlo predominaba por lo que podía muchas veces ser obviado. El saber que el tipo de firma se encontraba en el transporte les daba tranquilidad pero la marca ya había trabajado suficiente la confianza cómo para darle demasiado énfasis al descargar.



Figura 54: Prueba camión cargado con piedrín



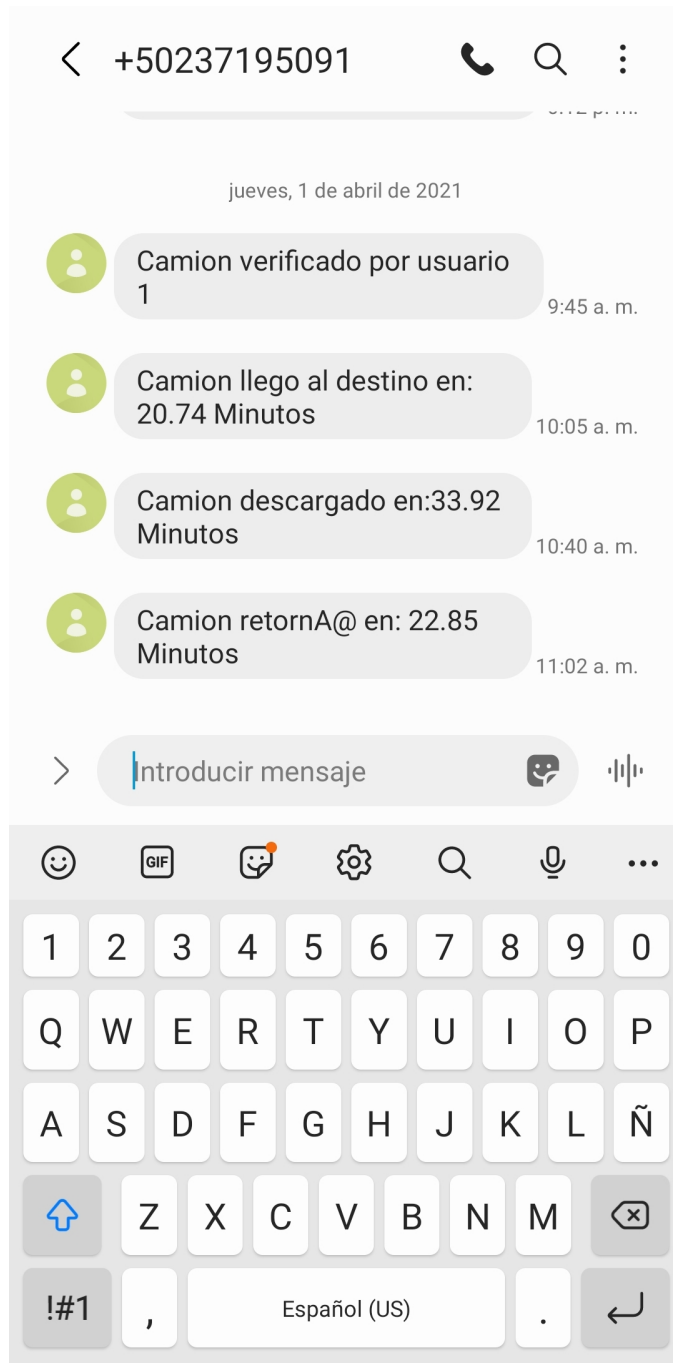


Figura 55: Pruebas 1 abril



Figura 56: Pruebas 13 abril



Figura 57: Pruebas 14 abril

lunes, 19 de abril de 2021



Camion verificado por usuario  
1

7:21 a. m.



Camion llevo al destino en:  
87.36 Minutos

8:48 a. m.



Camion descargado en:43.18  
Minutos

9:32 a. m.



Camion retornA@ en: 36.26  
Minutos

10:07 a. m.

Figura 58: Pruebas 19 abril

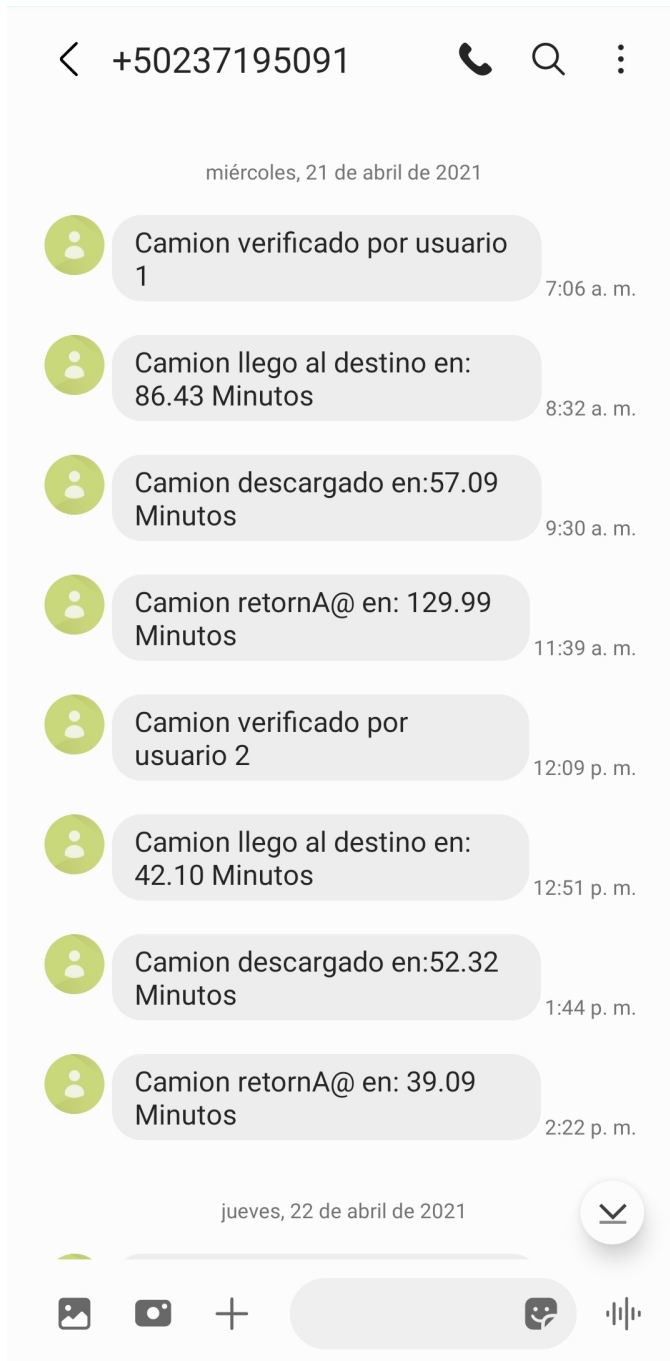


Figura 59: Pruebas 21 abril

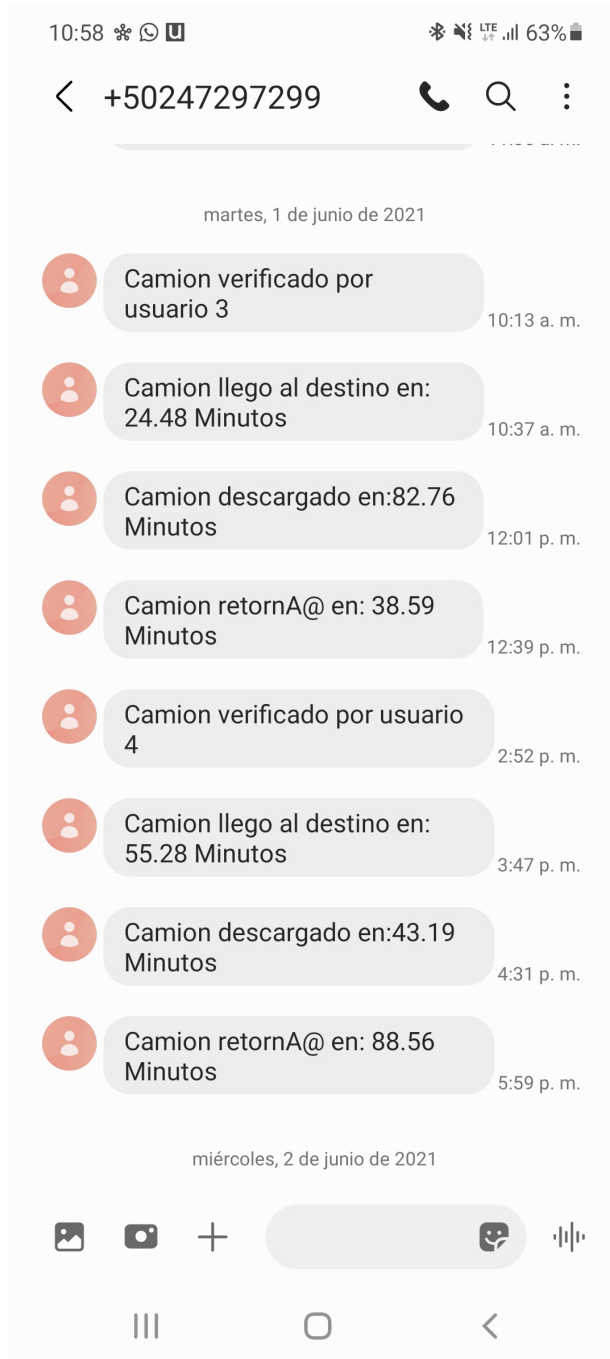


Figura 60: Prueba 1 de junio



Figura 61: Prueba 2 de junio

## 12.6. Problemas encontrados

- La falta de un manual formal de instalación ocasionó atrasos en la instalación.
- La carencia de un herrero en la instalación prolongó el tiempo de la misma.
- El día de instalación tiene que ser un día que no se utilice el camión para no afectar logística de tienda.
- Hay que especificar un tiempo de espera para permitirle al sistema conectarse a la red de telecomunicaciones.
- La caja debe ser manipulable por el jefe de logística, pero de ninguna manera por los pilotos ya que se encuentra resistencia a medir el tiempo de retorno.
- El código debe considerar un tiempo de abertura de la palangana antes de marcar por rota la firma ya que cuando existen cargas grandes en el camión el las paredes de la palangana por momentos se pueden separar un poco dando un tiempo erróneo de llegada. Para este punto bastan un par de segundos de validación.

## 12.7. Recomendaciones

- Considerar un herrero en la instalación
- Hacer instalación por pasos para disminuir errores.

- Considerar una caja menos alta para que se ajuste mejor al tablero.
- Considerar entre las herramientas de instalación una esmeriladora para cortar lámina del camión.
- Al capacitar al personal no explicar funcionamiento completo para evitar fallos en la lógica.
- Fabricar una montura metálica para los sensores dentro de la palangana.
- Considerar distintos adhesivos para los sensores en palangana.





Para la etapa de validación se entrevistaron tanto al personal de distintos departamentos como a clientes. Esto con el fin de clasificar los insights obtenidos con los datos generados y mostrados. El resumen de estas entrevistas se presenta a continuación.

### 13.1. Hallazgos clientes

- Muchas veces el sentido de urgencia por recibir el producto hace que las entregas sean rápidas sin prestar atención a muchos detalles de las mismas.
- Los problemas de faltantes o dañados por parte de la empresa han sido mínimos por lo que la confianza en el proceso actual existe.
- Saber que existe un proceso de control de calidad agrega valor a la empresa.
- El uso de nuevas tecnologías en procesos logísticos fidelizan a los clientes haciéndolos sentir más confiados

### 13.2. Hallazgos departamento de mercadeo

- Poca oportunidad de fidelización de clientes finales a menos que se acompañe de una encuesta o proceso adicional.
- Oportunidad para promover tecnificación de la marca ProgresoLabs.
- Podría ser una herramienta de fidelización a clientes ferreteros si se les pudiera dar la solución para procesos logísticos.

### 13.3. Hallazgos departamendo de logística

- Mucho valor en datos que anteriormente no se generaban.
- Procesos sencillos de implementar con personal.
- Mucha oportunidad de escalarlo a cadena de tiendas.
- La medición de estos tiempos puede servir no solo para modelos de negocios ferreteros sino para el centro de distribución.
- Mejora de control notable en tiempo real.
- El medio de comunicación no es invasivo por lo que no afecta la operación diaria (medios de comunicación tradicionales)
- Oportunidad de nuevos indicadores para programa de incentivos.
- Oportunidad a evolucionar el proyecto para definir tendencias en tiempos (clima, temporalidad de productos, tipo de productos, zonas).

---

### Propuesta de escalabilidad

---

Para este proyecto se encuentra una oportunidad muy grande en el departamento de logística. Los datos generados son de interés para varios negocios del grupo, tanto ferreterías propias, clientes grandes ContruRed y el centro de distribución. Dependiendo el negocio los datos pueden indicar eficiencia del transporte propio o problemas de descarga y verificación con clientes (centro de distribución).

Como primera fase se propone escalar este proyecto para tiendas Construfácil en la ciudad o en un perímetro cercano. Para esto se debe evaluar el tipo de transporte (material de las puertas) para determinar la etapa de sensores y acople. Producir la cantidad de PCBs y proponer una caja contenedora un poco más robusta para el tipo de camión o transporte.

En el caso de escalarlo a este tipo de tiendas se podría aplicar a distintos tipos de transporte. Algunas de las tiendas utilizan vehículos panel para transportar materiales en pequeñas cantidades, para estos se debe evaluar una adaptación de un tercer sensor y hacer el análisis de puertas abiertas en el circuito de acople (pueden utilizarse compuertas and) considerando así como transporte camiones de palangana como los propuestos en este proyecto así como vehículos panel.



El proceso de prueba de tecnologías acotó de manera significativa el proyecto. Este paso fue fundamental para poder tener un punto de partida de cómo debería comportarse el sistema y que parámetros se debe medir. Los esfuerzos posteriores para la selección del sensor se vieron beneficiados de esta parte, agilizando la implementación del proyecto.

El arreglo propuesto de sensores fue el adecuado al ser el menos invasivos. Parte del trabajo de ProgresoLabs es probar de manera rápida iniciativas y validar con rapidez. Este modelo permitió no hacer modificaciones mayores al camión, el proceso de instalación se facilitó por determinar el solo poner sensores en la puerta trasera. En la validación se pudo observar que los sensores por la posición que propone este arreglo quedan cubiertos del material transportado como de golpes externos. El cable expuesto en la bisagra si es un punto importante a considerar para la durabilidad a largo plazo del proyecto ya que por más que se analizaron las maneras de cambiar este arreglo siempre existe movilidad tanto en los cables de alimentación como del resultado del sensor.

La selección del microcontrolador tuvo puntos beneficiosos para el proyecto. El tamaño del microcontrolador permitió que el diseño del PCB fuese compacto logrando una instalación aceptable en el tablero del camión. La versatilidad de las librerías ya existentes por parte de la comunidad de Arduino permitieron una comunicación efectiva tanto con el módulo SIM800L cómo con el módulo MFRC522 permitiendo la lectura de los identificadores RFID cómo el envío de mensajes al departamento de logística. El controlador además se encuentra con varios proveedores a precios accesibles para brindar una solución implementable en negocios similares e incluso un poco más pequeños que ProgresoLabs.

En cuanto al modelo a escala fue fundamental para prototipar la solución antes de implementarla. Este modelo permitió verificar la lógica que se deseaba implementar así como validar aspectos cómo la manera de desplegar la información al encargado de logística. El modelo a escala permitió replicar los procesos del camión entendiendo de igual manera el

flujo de estados que el camión tiene desde que sale de la tienda hasta que regresa. Este modelo permitió prevenir errores de conexión, tal es el caso de los cables que suministraban energía al módulo GSM.

El diseño del PCB fue el adecuado para este proyecto. El tamaño con el que se diseñó permitió hacer una instalación sencilla sobre el tablero. En cuanto al modelo 3d generado permitió tener una idea de cómo generar posteriormente el diseño de la caja. La cantidad de vías fue limitada reduciendo así errores en soldadura y demás.

En cuanto a la caja el diseño resultó ser efectivo pero mejorable. La altura de la caja resultó ser un punto de mejora al efectuar la instalación en donde se notó que usando una caja un poco más pequeña quizás la instalación sería un poco más adecuada. El material se vió muy propenso a daños durante la instalación y considerando que datos como el número de teléfono o las tarjetas utilizadas pueden variar se podría proponer otro tipo de tapa que permita abrir y cerrar de manera más fácil el sistema para reemplazar o retirar momentaneamente el microcontrolador. El primer diseño de la caja en la implementación permitió observar el miedo a la medición del tiempo de retorno (no visto en la socialización del proyecto) lo cual llevó a tener más cuidado con la confianza depositada en los pilotos para proyectos de este tipo y tener en cuenta sistemas que limiten la manipulación del proyecto a las personas necesarias.

El proceso de instalación fue de mucho aprendizaje. La necesidad de un manual de instalación se hizo evidente para agilizar el tiempo de instalación (que fue de aproximadamente 9 horas). Se pudo notar también la necesidad de un herrero y de herramientas como esmeriladora para la instalación del sistema. Los adhesivos utilizados para el sensor en el periodo de prueba mostraron ser eficientes, sin embargo, se pueden considerar otros elementos como una base metálica soldada para el sensor o soldar el niple cobertor directamente a la lámina de la puerta (por dentro).

El área de oportunidad del proyecto fue en el departamento de logística. Este departamento se ve favorecido enormemente por los datos generados. Estos datos permiten tener mejor control del personal de la tienda. La oportunidad de estos datos llevados a negocios como el centro de distribución involucra también a los tiempos de descarga de los clientes identificando puntos de dolor en rutas donde los clientes deben descargar y verificar el material.

VD Labs resulta entonces un producto atractivo para distintas áreas de la corporación. Siendo viable para ser escalable a distintos negocios y replicable para la cadena de tiendas Construfácil.

- A través de la implementación de sensores de proximidad inductivos permitió implementar una firma electrónica con señalización lumínica que asegure la calidad del producto que sale de ProgresoLabs.
- A través de la implementación de sensores inductivos se pudo determinar el estado de la palangana del camión.
- Con los estados definidos y una lógica planteada se pudieron medir tiempos de entrega, descarga y retorno certeros para dar visibilidad al departamento de logística.
- Con la implementación de un sensor RFID se pudo identificar de manera efectiva al bodeguero que verificó al camión cómo al encargado de logística.
- Con la medición del estado de las puertas de la palangana (a través de los sensores) se pudo hacer una medición coherente del tiempo de descarga, tomando como referencia desde que las puertas se abaten hasta que permanecen cerradas más de 3 minutos.
- Con la implementación del módulo SIM800L se pudo tener visibilidad en tiempo real del estado del camión, informando con cada cambio de estado al departamento de logística.
- La instalación del sistema fue efectiva para camiones de 5 toneladas, soportando entornos constructivos y condiciones climáticas del lugar de la tienda.
- El sistema cuenta con una señalización lumínica que permite al cliente saber el estado del producto desde que salió de la tienda.
- La identificación por radiofrecuencia permite iniciar el ciclo de control con la firma del bodeguero así como el registro del tiempo de retorno bajo la identificación del encargado de logística.
- El sistema logra generar de manera efectiva datos inexistentes para el departamento de logísticos (tiempo de descarga).

- El sistema se valida como una herramienta valiosa para poder optimizar procesos logísticos tanto para ProgresoLabs cómo para otras partes de la corporación.



- 
- [1] R. Ballou, *Logística: administración de la cadena de suministro*. Pearson Education, 2004.
  - [2] A. Bastos, *Distribución Logística Y Comercial*. Ideaspropias editorial, 2007.
  - [3] J. E. M. Pérez, *Automatas programables y sistemas de automatización / PLC and Automation Systems*. Marcombo, 2009.
  - [4] R. Valdes F. y Pallás, *Microcontroladores Fundamentos y Aplicaciones con PIC*. Marcombo, 2007.
  - [5] J. Huidobro, *Comunicaciones Móviles. Sistemas GSM, UMTS y LTE*. MA Editorial, 2014.
  - [6] V. Henry-Labordère A. y Jonack, *SMS and MMS Interworking in Mobile Networks*. Artech House, Inc., 2004.
  - [7] K. R. S., *PRINTED CIRCUIT BOARDS Design, Fabrication, Assembly and Testing*. McGraw-Hill, 2006.
  - [8] Arduino, *Arduino Nano (V2.3) User Manual*, 2021. [Online]. dirección: <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoManual23.pdf>.
  - [9] —, (). “Arduino Nano Ingresado en Marzo 15, 2021,” dirección: <https://store.arduino.cc/arduino-nano>.



## 18.1. Código

```
/*Diego Jossué Contreras Méndez
 *Carnet: 14188
 *Código proyecto "Firma de cumplimiento"
 *Producto: VD- Labs
 */
//Importación de librerías para comunicación con los módulos
#include <SPI.h>
#include <MFRC522.h>
#include <SoftwareSerial.h>

//Creación de instancia para módulo SIM800L
SoftwareSerial comunicaciongs(2, 3);

//Configuración de pines módulo MFRC522
#define RST_PIN      9
#define SS_PIN       10

//Configuración de pines para señalización lumínica
#define cerrado      5          // Leds que confirma de firmado
#define abierto      4          // Leds que confirman de no firmado

//Instancia módulo MFRC522
MFRC522 mfrc522(SS_PIN, RST_PIN); // Se crea la variable para el rfid

//Variables para toma de tiempos
unsigned long inicio; //Tiempo inicial
unsigned long entrega; //Tiempo hasta que se rompe la firma
```

```

unsigned long descarga;//Tiempo de descarga
//Tiempo para medir desde que se cierra la palangana hasta que pasa un minuto cerrada
unsigned long proceso1;
//Tiempo para medir desde que se cierra la palangana hasta que pasa un minuto cerrada
unsigned long proceso2;
unsigned long retorno; //Tiempo cuando los de logística confirman llegada
unsigned long diferencia;//variable para calcular la diferencia
unsigned long refresco1;//Referencia para actualizar datos seriales
unsigned long refresco2;//Referencia para actualizar datos seriales
double tmin;//Variable de tiempo de llegada
double tdesc;//Variable tiempo de descarga
double tret;//Variable tiempo de retorno

//Variables adicionales
boolean contando;//Estado para contar tiempo

//Arreglo de posibles mensajes enviados por sms
String mensajes[6] = { "Camion llego al destino en: ", "Camion verificado por usuario 1",
"Camion verificado por usuario 2", "Sistema reiniciado manualmente",
"Camion descargado en:", "Camion retornó en: " };
int estado=0; // 0= sin firmar, 1=firmado, en camino, 2=descargando, 3 sin firma retornando
int usuario;//Variable de usuario
byte uid[4];
byte USER1[4]= {0x49, 0x9F, 0x8D, 0x84} ; //Identificación usuario 1
byte USER2[4]= {0xB5, 0xF4, 0xC8, 0x23} ; //Identificación usuario 2
byte USER3[4]= {0xB5, 0xD4, 0xB1, 0x23} ; //Identificación encargado de logística
byte USER4[4]= {0x00, 0x00, 0x00, 0x00} ; //Arreglo vacio para más usuarios
byte USER5[4]= {0x00, 0x00, 0x00, 0x00} ; //Arreglo vacio para más usuarios

//Módulo para imprimir en puerto serial la identificación aproximada al módulo RFID
void printHex(byte *buffer, byte bufferSize) {
  for (byte i = 0; i < bufferSize; i++) {
    Serial.print(buffer[i] < 0x10 ? " 0" : " ");
    Serial.print(buffer[i], HEX);
  }
}

void setup() {
  //Se definen puertos de señalización lumínica
  pinMode(4,OUTPUT);
  pinMode(5,OUTPUT);
  //Se define entrada del boton
  pinMode(6,INPUT);
  //Se definen entradas de los sensores
  pinMode(7,INPUT);
  pinMode(8,INPUT);
  //Comunicación serial con la computadora

```

```

Serial.begin(9600);
while (!Serial);
  //Se inicia el bus SPI para módulo MFRC522
SPI.begin();
  //Iniciar MFRC522
mfr522.PCD_Init();
delay(4);
//Imprimir datos del módulo al puerto serial
mfr522.PCD_DumpVersionToSerial();
  //Inicia comunicación con módulo SIM800L
comunicaciongsm.begin(9600);
  //Handshake
comunicaciongsm.println("AT");
  //Actualización de puerto serial
updateSerial();
  //Configuración modo texto
comunicaciongsm.println("AT+CMGF=1");
updateSerial();
  //Establecer manera de recibir mensajes.
comunicaciongsm.println("AT+CNMI=1,2,0,0,0");
updateSerial();
  //Se enciende indicado rojo de no firmado
digitalWrite(4,HIGH);
  //El usuario se establece como de logística para que no empiece proceso
usuario=3;
contando=false;
  //Se toma primer parametro para actualizar el serial
refresco1=millis();
}

void loop() {
  //Se toma el tiempo para verificar actualización de serial
refresco2=millis();
  //Se evalúa si se actualiza el serial (cada 10 segundos)
if((refresco2-refresco1)>10000){
  updateSerial();
  refresco1=millis();
  //Serial.println("Leyendo");
}

  //Se evalúa estado de las puertas y el estado para determinar
  //si empieza a contar tiempo de descarga
if(estado==2 and (digitalRead(7)==LOW or digitalRead(8)==LOW)){
  contando=false;
}
  //Espera a que las puertas esten cerradas despues de un tiempo
  //para registrar tiempo de descarga
if (estado==2 and digitalRead(7)==HIGH and digitalRead(8)==HIGH){

```

```

    if(contando==false){
        contando=true;
        proceso1=millis();
    }else{
        proceso2=millis();
        descarga=proceso2-proceso1;
        //Si se cumple el tiempo se cambia de estado y se envía el tiempo de descarga por sms
        if(descarga>60000){
            estado=3;
            diferencia=proceso1-entrega;
            tdesc=double(diferencia)/60000;
            enviarsms(4,tdesc);
        }
    }
}

//Evalúa si el estado es 1 verifica estado de las puertas
//para registrar y enviar tiempo de entrega
if(estado==1 and (digitalRead(7)==LOW or digitalRead(8)==LOW)){
    entrega=millis();
    diferencia=entrega-inicio;
    tmin=double(diferencia)/60000;
    digitalWrite(4,HIGH);
    digitalWrite(5,LOW);
    enviarsms(0,tmin);

    //Cambia de estado
    estado=2;
    Serial.println(estado);
    Serial.println(entrega);
    Serial.println(tmin);
}
//Evalúa boton de reinicio para reestablecer parámetros
// y notificar al encargado que el sistema se reinició
if(digitalRead(6)){
    estado=0;
    digitalWrite(4,HIGH);
    digitalWrite(5,LOW);
    enviarsms(3,0);
}
//Si no detecta tarjeta termina el ciclo
if ( ! mfr522.PICC_IsNewCardPresent() ) {
return;
}

// Si no identifica una carta anterior identificada termina el ciclo
if ( ! mfr522.PICC_ReadCardSerial() ) {
return;
}

```

```

}

//Si se detectó información se separa información de identificación y se imprime
for (byte i = 0; i < 4; i++) {
    uid[i] = mfrc522.uid.uidByte[i];
}
printHex(mfrc522.uid.uidByte, mfrc522.uid.size);
Serial.println();
//Se define el usuario identificado
if(compareArray(uid,USER1)){
    usuario=1;
}
if(compareArray(uid,USER2)){
    usuario=2;
}
if(compareArray(uid,USER3)){
    usuario=3;
}
Serial.println(estado);

//Si es el usuario de logística solo reacciona en estado de retorno devolviendo
//tiempo de retorno por mensaje de texto, se reinicia estado
if(usuario==3 and estado==3){
    retorno=millis();
    diferencia=retorno-proceso1;
    tret=double(diferencia)/60000;
    enviarsms(5,tret);
    estado=0;
}

//Si es un usuario conocido empieza a tomar tiempo de entrega
//se envía mensaje de texto con información de usuario y carga
if(usuario!=3 and estado==0 and digitalRead(7)==HIGH and digitalRead(8)==HIGH){
    inicio = millis();
    estado=1;
    Serial.println("Recibido");
    digitalWrite(4,LOW);
    digitalWrite(5,HIGH);
    enviarsms(usuario,0);
}
Serial.println();
mfrc522.PICC_HaltA();
mfrc522.PCD_StopCrypto1();
}

//Método para enviar mensajes de texto, recibe el mensaje del arreglo a enviar
//y el tiempo si es que se tuviera que enviar

```

```

void enviarsms(int a,double t){
    String mensaje;
    //Se configura modo sms
    comunicaciongsm.println("AT+CMGF=1");
    updateSerial();
    //Se define destinatario
    comunicaciongsm.println("AT+CMGS=\"+50241285129\"");
    updateSerial();
    //Determina si es necesario enviar tiempo recibido
    if(a==0 or a==4 or a==5){
        mensaje=mensajes[a]+String(t)+" Minutos";
    }else{
        mensaje=mensajes[a];
    }

    //Se envia el mensaje
    comunicaciongsm.print(mensaje); //text content
    updateSerial();
    comunicaciongsm.write(26);
}

//Método para actualizar puerto serial
void updateSerial()
{
    //Espera .5 segundos
    delay(500);
    //Revisa puerto con PC
    while (Serial.available())
    {
        //Escribe en módulo lo escrito en consola de pc
        comunicaciongsm.write(Serial.read());
    }
    //Revisa mensajes entrantes del módulo y los imprime en consola de PC
    while(comunicaciongsm.available())
    {

        String mensaje="Escrito: "+String(comunicaciongsm.readString());
        Serial.println(mensaje);
    }
}

//Método que compara dos arreglos de bytes para identificar usuarios
//devuelve verdadero o falso
boolean compareArray(byte array1[],byte array2[])
{
    if(array1[0] != array2[0])return(false);
    if(array1[1] != array2[1])return(false);
    if(array1[2] != array2[2])return(false);
}

```



```
    if(array1[3] != array2[3])return(false);  
    return(true);  
}
```

