

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

**ESCUELA DE INGENIERÍA EN
ELECTRÓNICA PRÁCTICA UNIVERSITARIA
SUPERVISADA PARA OPTAR EL GRADO
DE BACHILLERATO EN INGENIERÍA
ELECTRÓNICA**

**DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE
ESTANTE ELECTRÓNICO PARA LA
AUTOMATIZACIÓN DEL CONTROL DE
INVENTARIO DE MATERIA PRIMA CRÍTICA
EN LA PYME CENTRO DE BRONCEADO
2FANCY, PÉREZ ZELEDÓN, 2019**

Sustentante:

Alonso Elizondo Marín

Tutor:

Ing. Eduardo Sanabria

Diciembre, 2019

CARTA DEL TUTOR

San José, 30 de Noviembre del 2019

Señores
Departamento de Registro
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor:

El estudiante Alonso Elizondo Marín, cédula de identidad número 1-0979-0262, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado "**DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE ESTANTE ELECTRÓNICO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL CONTOL DE INVENTARIO DE MATERIA PRIMA CRÍTICA EN LA PYME CENTRO DE BRONCEADO 2FANCY, PÉREZ ZELEDÓN, 2019**", el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato.

En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

Tabla 1 Calificación del proyecto

#	Rubro	% Teórico	% Asignado
a	Original del tema.	10	8
b	Cumplimiento de entrega de avances.	20	20
c	Coherencia entre los objetivos, los instrumentos aplicados y los resultados de la investigación.	30	28
d	Relevancia de las conclusiones y recomendaciones.	20	18
e	Calidad, detalle del marco teórico.	20	18
Total:		100	92

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,



Ing. Eduardo Sanabria Guerrero
Céd: 108610714
Tutor

CARTA DEL LECTOR

San José, 05 de febrero del 2020

Señores
Departamento de Registro
Universidad Hispanoamericana

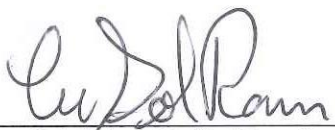
Estimado señor:

El estudiante Alonso Elizondo Marín, cédula de identidad número 1-0979-0262, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado **“DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE ESTANTE ELECTRÓNICO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL CONTOL DE INVENTARIO DE MATERIA PRIMA CRÍTICA EN LA PYME CENTRO DE BRONCEADO 2FANCY, PÉREZ ZELEDÓN, 2019”**, el cual ha elaborado para obtener su grado de Bachillerato.

He revisado y he hecho las observaciones relativas al contenido analizado, particularmente lo relativo a la coherencia entre el marco teórico y análisis de datos, la consistencia de los datos recopilados y la coherencia entre éstos y las conclusiones; asimismo, la aplicabilidad y originalidad de las recomendaciones, en términos de aporte de la investigación. He verificado que se han hecho las modificaciones correspondientes a las observaciones indicadas.

Por consiguiente, este trabajo cuenta con mi aval para ser presentado en la defensa pública.

Atentamente,



Ing. Cristhian Solís Ramírez
Cédula de identidad: 1-1356-0939
Carné colegio profesional: IE-31021

**UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACION**

San José, 12 de febrero del 2020

Señores:
Universidad Hispanoamericana
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) Alonso Elizondo Marín con número de identificación L-0979-0262 autor (a) del trabajo de graduación titulado Desarrollo de un prototipo de estante electrónico para la automatización del control de inventario de materia prima crítica en la PYME Centro de Bronceado 2 Fancy Pérez Zeledón 2019 presentado y aprobado en el año 2020 como requisito para optar por el título de Bachillerato en Ingeniería Electrónica; / NO) autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,

 L-0979-0262
Firma y Documento de Identidad

CARTA DE APROBACIÓN DE LA EMPRESA

23 de noviembre de 2019
Centro de Bronceado 2Fancy
Centro Comercial Las Marías
11901 Pérez Zeledón, San José, Costa Rica
Teléfono: 2772 - 6323



Señor José Luis Medrano Cerdas
Director de carrera Ingeniería Electrónica
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor,

Sirva la presente para saludarle y hacer de su conocimiento que el estudiante de Ingeniería en Electrónica Alonso Elizondo Marín, portador de la cédula de identidad 1-0979-0262, ha concluido de forma satisfactoria su práctica universitaria supervisada en mi empresa.

Dicha práctica fue titulada: DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE ESTANTE ELECTRÓNICO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL CONTROL DE INVENTARIO DE MATERIA PRIMA CRÍTICA EN LA PYME CENTRO DE BRONCEADO 2FANCY, PÉREZ ZELEDÓN, 2019.

El dispositivo implementado cumplió a cabalidad con las características y requerimientos de funcionamiento solicitados en el mes de mayo del presente año, habilitando el manejo remoto de inventario y el envío de alertas mediante mensajes de texto, e impactando de forma positiva el proceso de control de inventario.

Sin otro particular me despido respetuosamente.

Janine Araya Ureña

Céd: 1-1392-0188

Propietaria Centro de Bronceado 2Fancy

DECLARACIÓN JURADA

Yo Alonso Elizondo Marín, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 1-0979-0262 egresado de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de éste acto y debidamente apercibido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de Bachillerato en Ingeniería Electrónica juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: Desarrollo de un prototipo de estante electrónico para la automatización del control de inventario de materia prima crítica en la PYME Centro de Bronceado 2Fancy Pérez Zeledón, 2019, es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público.

En fe de lo anterior, firmo en la ciudad de San José, a los 28 días del mes de noviembre del año dos mil 19.


Firma del estudiante

Cédula: 1-979-262

CARTA DEL FILÓLOGO

Cartago, 12 de febrero de 2020

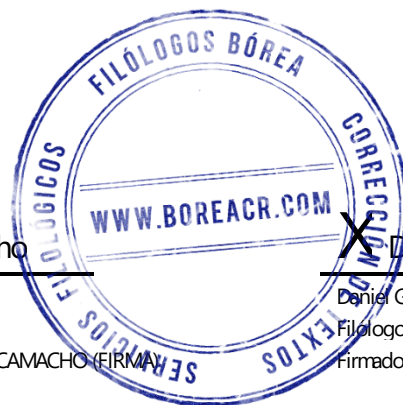
Los suscritos, Elena Redondo Camacho, mayor, casada, filóloga, cédula de identidad número 3 0447 0799 y Daniel González Monge, mayor, casado, filólogo, cédula de identidad número 1 1345 0416, vecinos de Quebradilla de Cartago, en calidad de filólogos revisamos y corregimos el trabajo final de graduación que se titula: *Desarrollo de un prototipo de estante electrónico para la automatización del control de inventario de materia prima crítica en la pyme Centro de Bronceado 2Fancy, Pérez Zeledón, 2019*, sustentado por Alonso Elizondo Marín.

Hacemos constar que se corrigieron aspectos de forma, redacción, estilo y otros vicios del lenguaje que se pudieron trasladar al texto. La originalidad y la validez del contenido son responsabilidad exclusiva del autor y de sus asesores.

Esperamos que nuestra participación satisfaga los requerimientos de la Universidad Hispanoamericana.

X Elena Redondo Camacho

Elena Redondo Camacho
Filóloga - Carné Acfil n.º 0247
Firmado por: ANA ELENA REDONDO CAMACHO (FIRMA)



X Daniel González Monge

Daniel González Monge
Filólogo - Carné Acfil n.º 0245
Firmado por: DANIEL ALBERTO GONZALEZ MONGE (FIRMA)

AGRADECIMIENTO

A todas aquellas personas que de una u otra forma me brindaron su apoyo y me motivaron para que finalizara este capítulo de mi vida profesional.

Al profesor Eduardo Sanabria, por su ayuda y guía durante el proceso del desarrollo de este proyecto.

Al director de carrera José Luis Medrano, por su apoyo durante este proceso.

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres, por inculcar en mí los valores de la perseverancia y la responsabilidad, por todo el apoyo que constantemente me brindan.

A mi esposa, por su paciencia y apoyo durante mis últimos años de estudio, gracias por no dejarme renunciar a mis metas.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo I. Planteamiento del problema.....	1
1.1. Antecedentes y justificación del proyecto.....	2
1.1.1. Antecedentes del contexto de la empresa	2
1.2. Justificación del problema	7
1.3. Definición del problema.....	10
1.4. Objetivos de la investigación.....	13
1.4.1. Objetivo general.....	13
1.4.2. Objetivos específicos	13
1.5. Alcances y limitaciones	15
1.5.1. Alcances	15
1.5.2. Limitaciones.....	17
Capítulo II. Marco teórico	19
2.1. Marco conceptual.....	20
2.1.1. Empresas pymes	20
2.1.2. Publicidad de boca en boca	21
2.1.3. Microcontroladores	23
2.1.4. Raspberry Pi.....	25
2.1.5. Arduino	27

2.1.6. Arduino Mega 2560.....	28
2.1.7. Sensores y actuadores	30
2.1.8. Celda de carga TAL220	31
2.1.9. Amplificador de celda de carga HX711	34
2.1.10. Sensor de distancia ultrasónico HC-SR04	36
2.1.11. Módulo Arduino GSM v2	37
2.1.12. Librería GSM	39
2.1.13. Librería Software Serial.....	40
2.1.14. GSM	40
2.1.15. Internet de las cosas	41
2.1.16. ThingSpeak.....	41
2.1.17. Otras herramientas de análisis de datos	43
Capítulo III. Marco metodológico.....	45
3.1. Tipo de investigación	46
3.1.1. Enfoque cuantitativo	47
3.1.2. Enfoque cualitativo.....	47
3.2. Fuentes de información.....	48
3.2.1. Fuentes primarias	48
3.2.2. Fuentes secundarias.....	49
3.3. Sujetos de información.....	50

3.4. Técnicas y herramientas de recolección de datos.....	51
3.4.1. Observación.....	51
3.4.2. Entrevista.....	52
3.5. Variables de investigación	53
3.6. Diseño de la investigación	56
Capítulo IV. Diagnóstico de la situación actual.....	62
4.1. Descripción de la situación actual	63
4.2. Recolección de los datos	66
4.2.1. Observación.....	66
4.2.2. Entrevistas	68
Capítulo V. Diseño y desarrollo del proyecto.....	73
5.1. Descripción de la propuesta.....	74
5.2. Diseño y construcción del prototipo.....	76
5.2.1. Estructura física	77
5.2.2. Etapa de sensado	83
5.2.3. Etapa de control.....	92
5.2.4. Etapa de comunicación.....	103
5.3. Implementación del prototipo	109
5.3.1. Etapa de pruebas.....	113
5.3.2. Pantallas	115

5.4. Análisis de costos	122
5.5. Aceptación del proyecto	125
Capítulo VI. Conclusiones y recomendaciones	126
6.1. Conclusiones	127
6.2. Recomendaciones	131
Bibliografía	134
Anexos	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del Centro de Bronceado 2Fancy	2
Figura 2. Vista Externa del Centro de Bronceado, Belleza y Estética 2Fancy	3
Figura 3. Área de Trabajo para Manicura y Pedicura	3
Figura 4. Área de Trabajo para Tratamientos de Cabello.....	3
Figura 5. Cuarto de Cámara de Bronceado.....	4
Figura 6. Cuarto de Fisioterapia y Masajes	4
Figura 7. Diagrama de causa – efecto	10
Figura 8. Esquema básico general de un microcontrolador.....	24
Figura 9. Raspberry Pi 4B.....	26
Figura 10. Arduino Mega 2560.....	29
Figura 11. Celda de carga TAL-220	32
Figura 12. Puente de Wheatstone.....	33
Figura 13. Amplificador de celda de carga HX711	35
Figura 14. Sensor de distancia ultrasónico HC-SR04.....	37
Figura 15. Módulo Arduino GSM v2	38
Figura 16. Visualización de Datos en ThingSpeak	42
Figura 17. Cronograma de actividades	61
Figura 18. Área compartida de almacenaje y cocina.....	67
Figura 19. Diagrama de Bloques General del Sistema.....	77
Figura 20. Botella de champú Davines.....	78
Figura 21. Base para colocar el producto.....	79

Figura 22. Vista superior del estante	80
Figura 23. Vista frontal del estante	81
Figura 24. Vista lateral del estante	81
Figura 25. Vista en tres dimensiones del estante	83
Figura 26. Diagrama del sensor de peso, amplificador y CAD	85
Figura 27. Segmentos de código relacionados con el sensor de peso	87
Figura 28. Diagrama del sensor de distancia y microcontrolador	89
Figura 29. Identificación de posiciones en la base del estante	90
Figura 30. Segmentos de código relacionados con el sensado de distancia	91
Figura 31. Segmentos de código relacionados con el modo mantenimiento	94
Figura 32. Segmentos de código relacionados con el manejo de mensajes.....	98
Figura 33. Segmentos de código relacionados con el control de inventario	102
Figura 34. Módulo Arduino GSM V2.....	103
Figura 35. Código Relacionado con el envío de mensajes de texto	105
Figura 36. Código relacionado con el envío de datos a ThingSpeak	108
Figura 37. Estante.....	109
Figura 38. Base del estante	110
Figura 39. Cables para las conexiones de sensores y microcontrolador	111
Figura 40. Cableado interno del estante.....	112
Figura 41. Estante instalado en el Centro de Bronceado 2Fancy	113
Figura 42. Mensajes de texto del sistema	119
Figura 43. Visualización de histórico de inventario en ThingSpeak	120
Figura 44. Histórico de inventario exportado a Microsoft Excel	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características técnicas del Raspberry Pi 4B	27
Tabla 2. Especificaciones Técnicas del Arduino Mega 2560	30
Tabla 3. Especificaciones Técnicas de la Celda de Carga TAL220	34
Tabla 4. Especificaciones técnicas del Amplificador de Celda de Carga HX711	36
Tabla 5. Características del HC-SR04	37
Tabla 6. Plataformas de Análisis de Datos de IoT	44
Tabla 7. Sujetos de investigación	50
Tabla 8. Variables de investigación	54
Tabla 9. Diseño de la investigación	57
Tabla 10. Requisitos del prototipo	72
Tabla 11. Lógica de sensado por distancia	88
Tabla 12. Código de colores del cableado	110
Tabla 13. Costo de los componentes del estante	122
Tabla 14. Costos de diseño, construcción e implementación	123
Tabla 15. Costo total del proyecto	123
Tabla 16. Resumen de cumplimiento de requisitos	125

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Resultados de encuesta de clientela.....	69
-----------------------------------------------------	----

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

1.1.1. Antecedentes del contexto de la empresa

El Centro de Bronceado, Belleza y Estética 2Fancy es una microempresa pyme ubicada en el cantón de Pérez Zeledón, en la provincia de San José. Esta surgió como resultado del deseo de superación de su propietaria y fundadora, la señorita Janine Araya Ureña, quien con tan solo 25 años decidió abrir el negocio en 2014 e inició labores el 28 de mayo. La Figura 1 muestra la ubicación geográfica de la microempresa:



Figura 1. Ubicación geográfica del Centro de Bronceado 2Fancy

Fuente: Mapas de Google.

La Figura 2, Figura 3, Figura 4, Figura 5 y Figura 6 muestran las principales características de la planta física.



Figura 2. Vista Externa del Centro de Bronceado, Belleza y Estética 2Fancy

Fuente: elaboración propia.

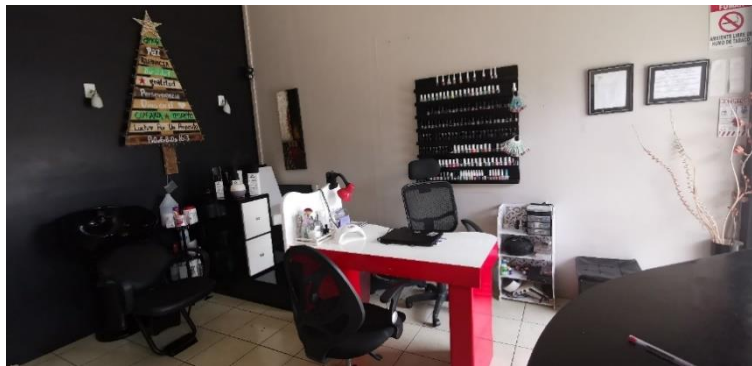


Figura 3. Área de Trabajo para Manicura y Pedicura

Fuente: elaboración propia.



Figura 4. Área de Trabajo para Tratamientos de Cabello

Fuente: elaboración propia.



Figura 5. Cuarto de Cámara de Bronceado

Fuente: elaboración propia.

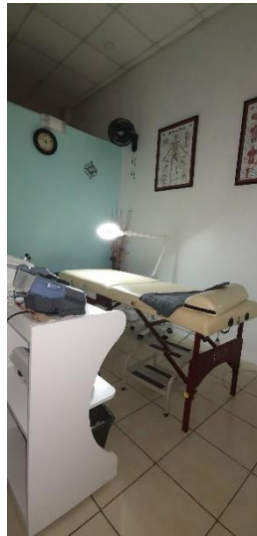


Figura 6. Cuarto de Fisioterapia y Masajes

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en las figuras anteriores, el proyecto abarca tres áreas distintas: servicio de manicura y pedicura, una cámara de bronceado y, la principal, el servicio de estilista para cabello. Este último se ha convertido en el eje central del negocio y genera la mayor parte de las ganancias, por ende, es el de mayor

importancia. El crecimiento del servicio de tratamientos de cabello ha sido exponencial y pasó de un promedio de tres clientes por semana en sus inicios, a diecisiete en la actualidad.

Este incremento en la demanda resultó en la generación de dos empleos permanentes adicionales, para, de esta manera, tener una persona dedicada, de forma exclusiva, a cada uno de los servicios ofrecidos. La propietaria se encarga del servicio principal y delegó los otros dos a sus colaboradoras. En la actualidad, se está gestando una nueva etapa de crecimiento con un plan piloto para ofrecer servicios de *spa* que, inicialmente, se enfocará en masajes corporales, fisioterapia y limpiezas faciales.

El éxito obtenido no ha sido obra de la casualidad, sino del esfuerzo y dedicación de todo el personal. Su visión común es que la especialización, el servicio al cliente y los productos de alta calidad, son de vital importancia para el éxito continuo de su empresa. De esta forma, los insumos o materia prima se convierten en uno de los elementos clave para la continuidad del negocio, especialmente aquellos que no son de fácil acceso y que, a la vez, son críticos para los procesos operativos. Ejemplos de estos son las cremas bronceadoras para la cámara de bronceado, los tintes para cabello, los champús y acondicionadores y los esmaltes de uñas.

La satisfacción de las clientes es otro de estos elementos clave. La mayoría de agenda sus citas para atender a eventos especiales en fechas específicas y programadas con antelación. Es claro que en estas circunstancias el deseo de la

clientela es obtener un servicio de calidad, que las haga lucir de la mejor forma posible, por lo que un servicio rápido y de alta calidad se convierte en la expectativa mínima.

Para la propietaria está claro que la continuidad del crecimiento experimentado hasta hoy dependerá, de forma directa, de la capacidad de la empresa de cumplir con esta expectativa. Por lo tanto, contar con las herramientas adecuadas para el funcionamiento apropiado de las operaciones es un asunto de primer orden y depende indiscutiblemente de la disponibilidad de los materiales requeridos para cada tratamiento o proceso.

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo con Cruz (2017) “las empresas necesitan aprovisionarse de bienes y servicios para el desarrollo de sus actividades. Estos aprovisionamientos se acumulan en las empresas y deben ser gestionados para su correcta manipulación y conservación” (s. p.) El listado ordenado y detallado de este aprovisionamiento se conoce como un inventario. Existen objetivos claros que persigue todo inventario, algunos de estos son:

- Reducir los riesgos manteniendo la cantidad adecuada de producto en la empresa.
- Reducir los costos, ya que permite programar las adquisiciones y la producción de la empresa, de forma eficiente.
- Reducir las variaciones entre la oferta de la empresa y la demanda de los clientes.

Sin importar el tipo de empresa y la actividad a la que se dedique, el manejo adecuado del inventario es uno de los factores básicos para su salud financiera. Contar con los productos necesarios en el momento en que se requieren es fundamental, pues un faltante significa que un cliente no recibirá el servicio o producto que requiere, lo que resultará en insatisfacción y una imagen negativa acerca de la compañía. El contar con excedentes elimina el problema anterior, pero resulta en un incremento de los costos de producción. Por lo tanto, para que se dé una gestión adecuada de aprovisionamiento se deben tener en cuenta ciertas

variables, entre estas:

- Tiempo. Considerando el concepto de tiempo de entrega, que es el tiempo desde que se necesita la mercancía hasta que llega a la empresa.
- Demanda. Basar la demanda futura del producto en patrones de comportamiento históricos hace que la gestión del inventario y su disponibilidad sea más eficiente y rentable.
- Costos. La gestión y tenencia de un inventario en la empresa implica una serie de gastos, entre los que se pueden destacar:
 - Adquisición al aprovisionarse del producto o fabricarlo.
 - Almacenamiento al requerir un espacio para ubicar los productos de la empresa.
 - Demanda no cubierta al no tener producto en el almacén, se debe incurrir en un gasto adicional para tener disponible el producto para el cliente.

El contar con herramientas que permitan el manejo adecuado de inventario se convierte en un aspecto de vital importancia. Estas pueden variar en complejidad y costo, por lo que es necesario tener claridad respecto a las necesidades y capacidades de la compañía al seleccionarlas. El manejo del inventario en 2Fancy se hace de forma manual y es una responsabilidad enteramente de la gerente, quién es, además, la encargada del funcionamiento adecuado de la principal área de

generación de ingresos en la empresa. Su disponibilidad de tiempo es limitada por lo que, normalmente, esta tarea queda relegada al final del día, cuando el cansancio puede inducir a errores y existe el deseo de concluir lo antes posible, pues la hora de cierre de jornada, por lo general, es después de las 9:00 p. m.

Estos errores se traducen normalmente en órdenes incorrectas que generan un desequilibrio de los productos críticos, lo que puede representar un gasto innecesario o faltante de un producto. Ante la segunda situación existen dos posibles soluciones, adquirir el producto faltante en otro salón de belleza a un costo más alto o explicar a la clienta que no se cuenta con el producto y esperar que seleccione otro o cambie su cita. En cualquiera de los casos el resultado es una clienta insatisfecha.

Al consultarle acerca de cuál sería el escenario ideal para el manejo del inventario y la creación de órdenes de proveedores, la gerente indicó que obtener, de forma remota, lecturas fidedignas del producto crítico en existencia solucionaría el problema de hacer órdenes incorrectas. A la vez, le permitiría hacerlas desde su casa en el momento que mejor se ajuste a su agenda, sin necesidad de quedarse tarde en el negocio ni correr el riesgo de cerrar y salir tarde y sola con las ganancias del día.

1.3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En la Figura 7 se presenta un diagrama de causa-efecto que muestra los principales factores que contribuyen al problema del control inadecuado del inventario:

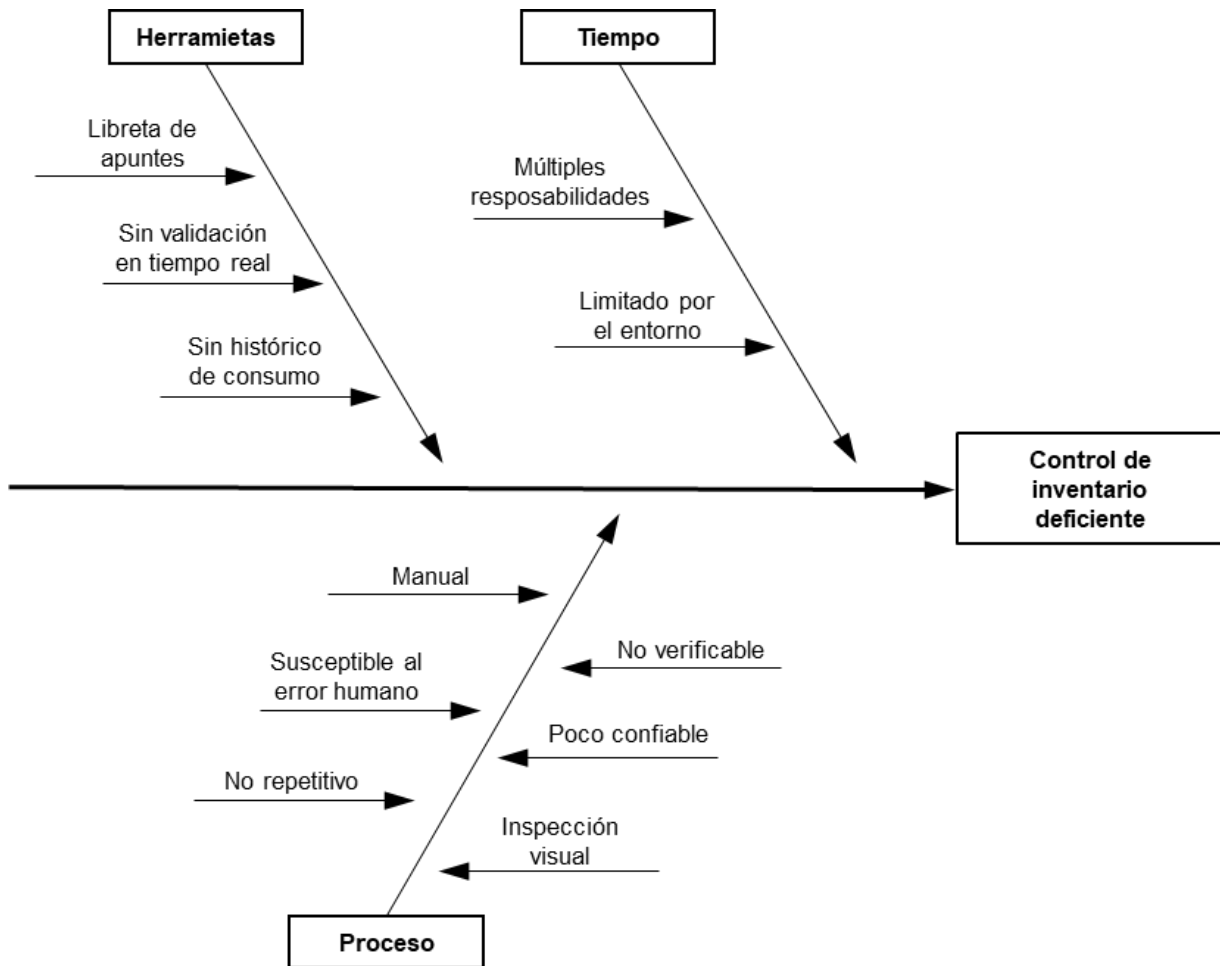


Figura 7. Diagrama de causa – efecto

Fuente: elaboración propia.

- a. Herramientas: las herramientas son básicas y carecen de capacidades importantes como la posibilidad de validar los datos en tiempo real o construir un histórico del inventario. La trazabilidad de la información es mínima, pues el control se lleva en una libreta de apuntes.

- b. Tiempo: la persona a cargo del inventario tiene múltiples responsabilidades en la empresa: gerente, estilista, encargada de pedidos y proveeduría, entre otros. Esto provoca que no haya un tiempo exclusivo para el control de inventario. Este se hace, en la mayoría de los casos, una vez que termina la jornada laboral, después de las 9:00 p. m. y de forma rápida, pues se trata de evitar salir tarde del local comercial con el dinero recaudado durante el día para evitar un posible asalto.

- c. Proceso: este es quizá el elemento más importante y el que presenta las mayores falencias. Consiste en anotar, de forma manual, la información acerca del producto existente en una libreta, con estos datos se hace el pedido a los proveedores. El conteo de la mercadería es visual y, normalmente, se hace de forma rápida, lo cual puede inducir al error. Una vez concluido y retirada la encargada del local no es posible validar los datos, de otra manera que no sea retornando al mismo para llevar a cabo una nueva inspección.

Por lo tanto, queda claro que existe una necesidad imperante de mejorar el control de inventario con el objetivo de que este se pueda efectuar de forma remota, automatizada, repetitiva, verificable y confiable. De esta forma, surge la siguiente interrogante:

¿Qué dispositivo electrónico podría ser capaz de automatizar el control de inventario de materias primas críticas en el Centro de Bronceado 2Fancy en el 2019, de forma que el mismo se pueda consultar de manera remota y

proporcione un historial de consumo?

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

- **Diseñar un prototipo de un dispositivo electrónico que determine la cantidad de producto crítico en existencia, envíe el dato vía mensaje de texto a un teléfono celular y cree un historial de los datos para el Centro de Bronceado 2Fancy durante el segundo semestre del 2019.**

1.4.2. Objetivos específicos

1. Identificar las necesidades y requerimientos específicos para el control de inventario del Centro de Bronceado 2Fancy.
2. Analizar las diferentes opciones de tecnologías existentes para que se cumpla con los requerimientos del control de inventario.
3. Seleccionar los componentes electrónicos que mejor se ajusten a los requisitos y presupuesto de la empresa.
4. Diseñar un prototipo de dispositivo electrónico para el control automático del inventario de materia prima crítica.
5. Construir el prototipo de dispositivo electrónico para el control automático y remoto del inventario de materia prima crítica.
6. Valorar el funcionamiento del prototipo, según las necesidades y requerimientos planteados.

7. Evaluar la relación costo-beneficio de la implementación del dispositivo electrónico para el control automático de materia prima crítica.

1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES

1.5.1. Alcances

El desarrollo del proyecto se enfoca en automatizar el proceso de control de inventario de materia prima considerada crítica a su tiempo de entrega o dificultad de proveer, su costo y su importancia para los tratamientos de cabello. Se trabajará con uno de estos productos, el champú Davines, que tiene un tiempo de entrega de hasta 3 semanas después de hacer el pedido y de adquirirse en un salón de belleza podría costar hasta un 40 % más del precio que brinda el proveedor.

La empresa Davines se ubica en Parma, Italia y se fundó en 1983 como un laboratorio de investigación especializado en la producción de productos de muy alta calidad para el cuidado de la piel y el cabello, los cuales vendían a fabricantes de cosméticos de alto renombre alrededor del mundo. Su filosofía es la belleza sostenible que promueve el cuidado de las personas que usan sus productos y el ambiente que las rodea.

Para lograr este objetivo, Davines usa la menor cantidad de materia prima necesaria, aprovecha material reciclable y optimiza los procesos de logística y distribución para evitar el desperdicio. Usan únicamente la cantidad de plástico necesaria para proteger y almacenar sus productos, reemplazan el uso de cartón por materiales compostables o reciclados que se pueden reusar, con lo que lograron convertirse en una empresa carbono neutral desde el 2018. La alta calidad de sus productos ayudó al crecimiento de la empresa, que cuenta con presencia en el ámbito mundial en más de 90 países y oficinas en ciudades como Nueva York,

Londres, París, Ciudad de México, Deveneter y Hong Kong.

El uso de productos de alta calidad para garantizar la satisfacción de sus clientes ha sido uno de los pilares del éxito y crecimiento de 2Fancy. Al no existir en Pérez Zeledón un lugar en el que se puedan adquirir los productos de Davines a un costo favorable, queda claro por qué es sumamente importante tener un control de inventario adecuado, que evite incurrir en gastos innecesarios. Por lo tanto, el prototipo a implantar será similar a un estante, en el que se pueda colocar el producto y por medio de sensores se calcule el número de unidades que hay en existencia. Se determinará el tipo de sensor que mejor funcione para este fin, para que cuente con la precisión adecuada para brindar información confiable. Además, se considerará si es posible utilizar más de un tipo de sensor, en caso de que el primario falle.

Un elemento esencial para cumplir con las necesidades de la empresa es la opción de llevar a cabo consultas al sistema en tiempo real y de forma remota. Esto se conseguirá al integrar un módulo de comunicaciones que reciba y envíe mensajes de texto, de manera que la gerente pueda consultar por medio de su teléfono celular y desde la seguridad de su hogar el estado actual del inventario. Otro aspecto importante que se debe abarcar es la creación de un historial de movimiento del producto, que le permita a la gerente determinar patrones de consumo y predecir la necesidad de ajustes en los pedidos. El módulo de comunicación se deberá conectar con una plataforma de IoT (Internet de las cosas por sus siglas en inglés) en el que se almacenará cada una de las variaciones en la cantidad de unidades. Esta información se puede obtener mediante un teléfono celular o cualquier otro

dispositivo que cuente con un navegador de Internet.

1.5.2. Limitaciones

Existe una serie de aspectos a considerar en el momento de seleccionar los componentes y soluciones para el prototipo de dispositivo electrónico por desarrollar. Debido al deseo de la gerente de llevar a cabo consultas al sistema mediante mensajes de texto se limita el uso de módulos de comunicación a aquellos que cuenten con esta funcionalidad. A pesar de que existe un número importante de opciones para tener conectividad a redes inalámbricas Ethernet, estas no se tomarán en cuenta debido a que no habilitan el uso de mensajes de texto.

Por consiguiente, es importante que el área donde se ubique el prototipo cuente con cobertura de red celular adecuada, por lo que se deben llevar a cabo pruebas de campo para la selección del proveedor de servicio. Como es una empresa pequeña con un presupuesto limitado se debe mantener el costo del prototipo dentro del rango definido. Por este motivo, se valorarán las diferentes opciones en el mercado para presentar una propuesta que debe aprobar la gerente del centro de bronceado. El diseño y las capacidades del prototipo podrían tener que modificarse para mantener un costo razonable.

El prototipo se utilizará durante un periodo para evaluar su funcionalidad y el cumplimiento de los objetivos planteados. Según los resultados se podría extender su uso para el control de inventario de otros productos y, de ser este el caso, se deberá llevar a cabo un análisis de las características de los mismos para determinar los sensores que se deben utilizar. Para fines prácticos de este proyecto se limita al

control de inventario de botellas de champú.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1. Empresas pymes

La página de Internet pymes Costa Rica (s. f.), define a estas empresas de la siguiente forma:

Se entiende por pequeñas y medianas empresas (PYMES) toda unidad productiva de carácter permanente que disponga de los recursos humanos, los maneje y opere, bajo las figuras de persona física o de persona jurídica, en actividades industriales, comerciales, de servicios o agropecuarias que desarrollen actividades de agricultura orgánica (s. p.).

En esta misma página se explica cómo se puede llevar a cabo el cálculo del tamaño de la pyme:

Las PYMES se clasifican en tres categorías según su tamaño: microempresa, pequeña empresa y mediana empresa. El tamaño es definido mediante el uso de una fórmula que considera la actividad empresarial (comercio, industrial, servicios, TIC), la cantidad de personal, el valor de las ventas anuales netas y el valor de los activos (pyme.go.cr, s. f., s. p.).

Para acceder a los beneficios que otorga el gobierno a este tipo de empresa, esta debe estar registrada en el Ministerio de Economía, Industria y Comercio (MEIC) tras cumplir con los siguientes requisitos:

- Que la empresa esté dentro de alguna de las tres categorías antes descritas.
- Que tengan permanencia en el mercado.
- Que sea una unidad productiva formal.

- Que clasifique, según las partidas del CIIU establecidas en el Transitorio II del Decreto 37121MEIC.
- Cumplir dos de los siguientes tres requisitos, según el Art 3 de la Ley n.º 8262.
 - Formulario D101 o D105, última declaración del impuesto sobre la renta.
 - Recibo de la póliza de riesgo del trabajo que demuestre que tiene la póliza vigente.
 - Estar al día con el pago de las obligaciones de cargas sociales (CCSS).

Entre estos beneficios existe el acceso a financiamiento mediante el Sistema Banca para el Desarrollo (SBD), asesoría financiera, estudios sobre oferta de crédito y asesoría en temas como ventas al estado. Además de cómo llevar a cabo exportaciones e importaciones, encadenamientos locales y de exportación y cómo conformar una franquicia, entre otros.

2.1.2. Publicidad de boca en boca

La publicidad de boca o boca es una técnica utilizada para generar una conversación natural acerca de un producto o una compañía; el objetivo que se busca es que la gente hable de una marca, producto o negocio. Este canal se considera el más potente para darlos a conocer, pues una recomendación de alguien que se conoce

tiene mayor influencia en las decisiones que cualquier campaña de mercadeo. Estudios muestran que 92 % de los consumidores globales afirman que confían en las recomendaciones y la información que reciben de sus familiares y amigos más que la de cualquier otro tipo de publicidad (Shopify, s. f.).

A pesar de que muchos la consideran gratuita, lo cierto es que para que la publicidad surta el efecto deseado se deben cumplir ciertos aspectos. Por lo tanto, surge la interrogante sobre qué puede hacer un negocio pequeño para que haya más conversaciones y se produzcan de manera natural. Existen varios pilares en los que se sustenta este tipo de publicidad:

- **Relaciones.** Recuerde los nombres: cuanto más especial y valorado se haga sentir a cada consumidor, más probabilidades existen de que comenten a otros su experiencia. Para lograr eficiencia, el mercadeo de boca en boca tiene su base en la creación de relaciones personales recíprocas y respetuosas.
- **Resultados:** si hay algo esencial en este tipo de mercadotecnia es que se viralicen los resultados, que los beneficios que aportan las partes involucradas lleguen al mayor número de clientes prospecto.
- **Referencias:** para que el éxito engendre éxito, es esencial que las referencias se transformen en testimonios confiables, los cuales serían herramientas útiles y poderosas de su estrategia.
- **Recomendaciones:** tienen su origen en la confianza. Si un cliente ha tenido

una experiencia satisfactoria, hablará de su producto o servicio a sus conocidos, convirtiéndose así en embajador de su marca.

- Fidelización del cliente: para persistir en el tiempo y que el esfuerzo de su estrategia no sea efímero, su propósito final debe ser que el cliente se vuelva fiel a su marca.

Para comunicar un mensaje, se debe tomar en cuenta las grandes ventajas de la publicidad de boca en boca y poner empeño en satisfacer a los clientes. Está comprobado que cada experiencia positiva se comenta a por lo menos tres personas, mientras que cuando la experiencia es negativa, ese número puede llegar a diez y las repercusiones crecen exponencialmente cuando se ventilan en redes sociales. Por esta razón, es de vital importancia enfocarse en que la publicidad de boca en boca de su negocio sea positiva y en atender de inmediato cualquier queja para contrarrestar con una buena atención cualquier percepción negativa.

2.1.3. Microcontroladores

Los microcontroladores se han desarrollado para cubrir las más diversas aplicaciones. Se usan en automoción, en equipos de comunicaciones y de telefonía, en instrumentos electrónicos, en equipos médicos e industriales de todo tipo, en electrodomésticos, en juguetes, etc. Están concebidos, en esencia, para utilizarse en aplicaciones puntuales, es decir, aplicaciones en las que el microcontrolador debe llevar a cabo un pequeño número de tareas, al menor costo posible. En estas aplicaciones, el microcontrolador ejecuta un programa almacenado de forma permanente en su memoria, el cual trabaja con algunos datos almacenados

temporalmente e interactúa con el exterior, a través de las líneas de entrada y salida de que dispone (Valdés y Pallás, 2007). Por lo tanto, es un circuito integrado que cuenta con una unidad central de procesamiento, memoria y entradas y salidas, como se muestra en la Figura 8

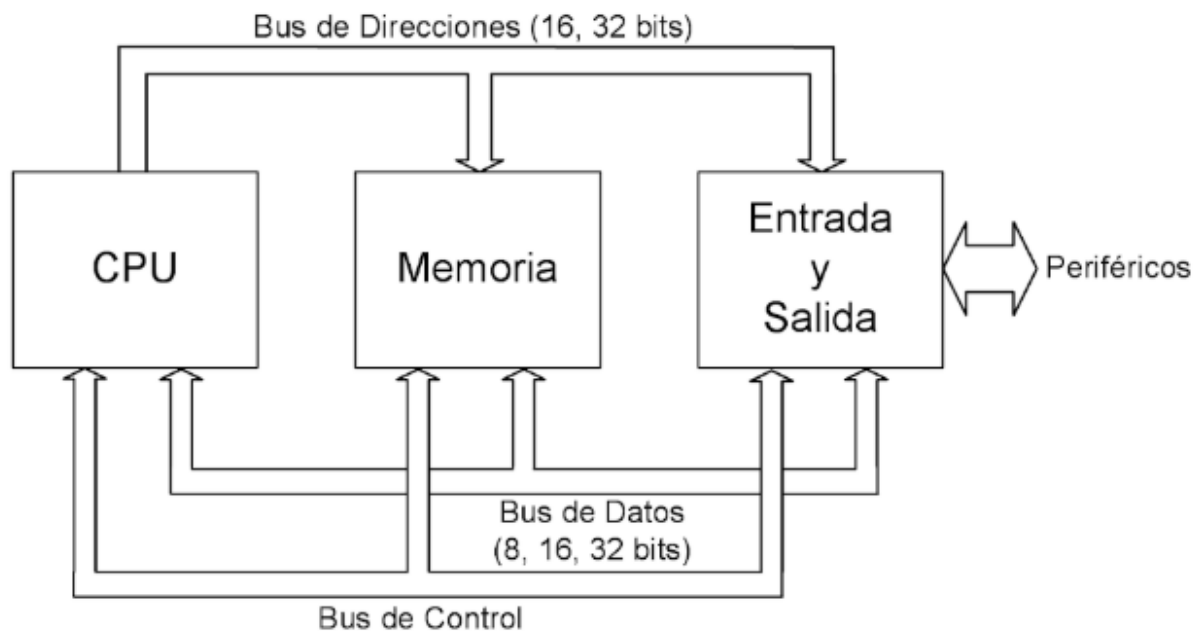


Figura 8. Esquema básico general de un microcontrolador

Fuente: Valdés y Pallás, 2007.

Los microcontroladores han existido desde la década de 1970, cuando los ingenieros de Texas Instruments, Gary Boone y Michael Cochran, lograron crear el primer microcontrolador, TMS 1000, en 1971; fue comercializado en 1974. Combina memoria ROM, memoria RAM, microprocesador y reloj en un chip y estaba destinada a los sistemas embebidos. Desde entonces, múltiples empresas han creado microcontroladores de diferentes tipos y características, por lo que, en la actualidad, el mercado presenta una alta gama de opciones, según la solución que se busque. La decisión de cuál es que mejor se ajusta dependerá de las necesidades y realidad

de cada proyecto, en términos de costo, cantidad y tipo de entradas y salidas, consumo de poder, ambiente de operación, etc.

2.1.4. Raspberry Pi

La fundación de caridad inglesa Raspberry Pi se dedica a promover la educación de la computación y facilitar el acceso al poder de las computadoras y el desarrollo de creación digital alrededor del mundo. Este objetivo se persigue mediante la construcción de computadoras de bajo costo, pero alto rendimiento, que se pueden utilizar para aprender, resolver problemas o simplemente divertirse. Su primera computadora se creó en 2012 y desde entonces han creado múltiples modelos. El original contaba con un procesador de 700 MHz, núcleo único y 256 MB de memoria RAM; mientras que el más reciente cuenta con un procesador de 1.5 GHz y cuatro núcleos y hasta 4 GB de memoria RAM. El costo de estos dispositivos siempre ha estado por debajo de los \$35.

El Raspberry Pi es una computadora capaz de usar el sistema operativo Linux, pero, además, cuenta con una serie de pines de entrada/salida y propósito general que permite recibir información o controlar dispositivos electrónicos como los utilizados en el Internet de las cosas. Para el uso de cualquiera de los modelos Raspberry es necesario contar con elementos adicionales como una memoria microSD, un teclado, un ratón, un monitor o televisor con su cable de conexión y una fuente de poder de entre 2.5 y 3 amperios, según el modelo que se seleccione. Adicionalmente, se debe descargar el sistema operativo que se desea utilizar y, según modelo a emplear, elementos adicionales para la conexión de dispositivos a

contralar o de los que se obtendrá información. La Figura 9 muestra el último modelo disponible, el Raspberry Pi 4B:

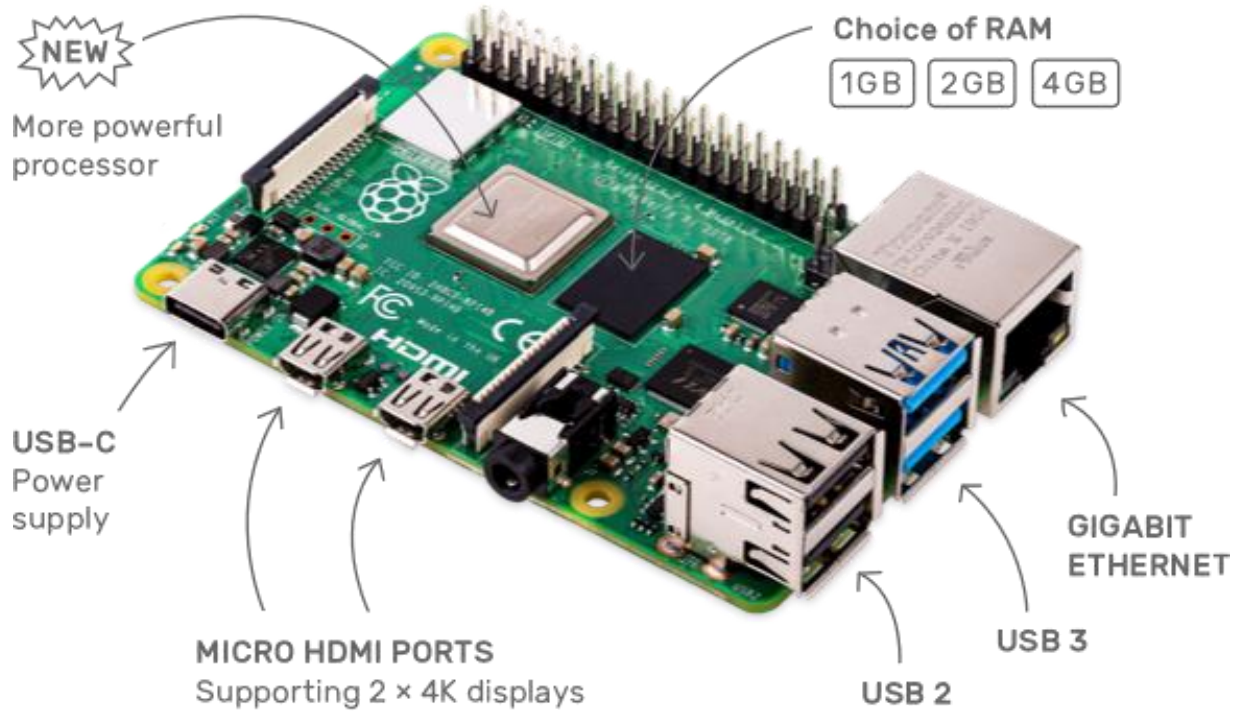


Figura 9. Raspberry Pi 4B

Fuente: Raspberrypi.org.

A continuación, la Tabla 1 detalla las características técnicas del mismo:

Tabla 1. Características técnicas del Raspberry Pi 4B

Procesador Broadcom BCM2711, Quad core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC a 1.5GHz
1GB, 2GB o 4GB LPDDR4-3200 SDRAM (según modelo)
2.4 GHz y 5.0 GHz IEEE 802.11ac wireless, Bluetooth 5.0, BLE
Gigabit Ethernet
2 puertos USB 3.0; 2 puertos USB 2.0
Conector estándar de 40 pines Raspberry Pi GPIO (compatible con modelos anteriores)
2 puertos micro-HDMI (soporta hasta 4kp. 60)
Puerto de video MIPI DSI de 2 carriles
Puerto de cámara MIPI CSI de 2 carriles
Puerto de 4 pines para video composite y sonido estéreo
H.265 (decodificador 4kp. 60), H264 (codificador 1080p. 60, 1080p. 30)
Gráficos OpenGL ES 3.0
Ranura para tarjeta Micro-SD para la carga del sistema operativo y almacenamiento de datos
5 V DC vía conector USB-C (mínimo 3 A)
5 V DC vía conector GPIO (mínimo 3 A)
Power over Ethernet (PoE) habilitado (requiere un conector PoE separado)
Temperatura ambiente de operación: 0 – 50 grados C

Fuente: Raspberrypi.org

2.1.5. Arduino

En la actualidad, existen dos tendencias principales en el uso de microcontroladores, por un lado, existen los que usan la gama de Microchip conocidos como PIC y por otro se encuentra los que usan microcontroladores AVR, populares por ser el núcleo de procesamiento de las famosas tarjetas de prototipado Arduino. Arduino es el ecosistema de *hardware* y *software* abierto líder en el mundo. La empresa ofrece herramientas de *software*, plataformas de *hardware* y documentación que permite el desarrollo de proyectos, tanto en el área de educación como en el ámbito profesional. La primera tarjeta Arduino fue introducida en el 2005 para ayudar a estudiantes a crear prototipos que conectaran el mundo físico con el digital.

2.1.6. Arduino Mega 2560

Si solo se piensa en los requisitos presentados para el prototipo a desarrollar, el uso del Arduino Mega 2560 es posiblemente innecesario y excesivo, pues con modelos de menor gama sería posible lograr los objetivos propuestos. Sin embargo, es importante considerar el potencial crecimiento de la solución para incluir otros productos, con el uso de diferentes sensores, para garantizar la escalabilidad del producto.

El Arduino Mega 2560 es un controlador con base en el ATmega 2560. Cuenta con 54 pines que pueden usarse como entradas o salidas digitales (E/S - 15 de los cuales funcionan como salidas de ancho de pulso modulado), 16 entradas análogas, 4 puertos seriales (UARTs), un cristal oscilador de 16 MHz, una conexión USB, un conector eléctrico, un conector para programación serial (ICSP) y un botón de reinicio. Esto se muestra en la Figura 10:



Figura 10. Arduino Mega 2560

Fuente: www.arduino.cc.

Las especificaciones técnicas del Arduino Mega 2560 se presentan en la Tabla 2. De estas, tal vez las más relevantes son el voltaje de alimentación, pues permite el uso de varias fuentes de poder, como una batería de 9 voltios o un adaptador de poder de hasta 12 voltios. Además, es muy importante conocer las corrientes máximas soportadas por los diferentes tipos de pin para el cálculo correcto de los valores de impedancia requeridos para el funcionamiento adecuado de sensores y otros dispositivos que se vayan a conectar a la tarjeta.

Tabla 2. *Especificaciones Técnicas del Arduino Mega 2560*

Microcontrolador	ATmega 2560
Voltaje de operación	5 V
Voltaje de entrada (recomendado)	7 a 12 V
Voltaje de entrada (límites)	6 a 20 V
Pines de entrada/salida digital	54 (15 proveen ancho de pulso modulado)
Pines de entrada analógica	16
Corriente directa por pin de E/S	20 mA
Corriente directa para el pin de 3.3 V	50 mA
Memoria Flash	256 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Frecuencia de reloj	16 MHz
LEDs en la placa	13
Largo	101.52 mm
Ancho	53.3 mm
Peso	37 g

Fuente: www.arduino.cc

2.1.7. Sensores y actuadores

Los sensores y actuadores son los elementos de un sistema que lo conectan con su entorno físico, excluido el usuario. La función de los sensores es obtener señales eléctricas como respuesta a magnitudes de entrada no eléctricas. La función de los actuadores es llevar a cabo una acción mecánica como respuesta a una señal de entrada, que en el caso de los actuadores eléctricos es eléctrica, pero que puede ser también neumática, hidráulica o mecánica.

Según la forma de su señal de salida los sensores pueden ser analógicos o digitales. El acondicionamiento de la señal de salida de los sensores digitales es mucho más simple que la de los analógicos, pero son pocos los dispositivos capaces de dar directamente una salida digital como respuesta a una magnitud física de entrada (Pallás, 1993). En la actualidad, encontrar sensores con salida digital es común debido al avance que se ha presentado desde la fecha de publicación y esta no se convierte en una limitante para la selección y uso de los sensores. Lo que es de vital importancia es determinar la magnitud de entrada que se desea medir y con qué precisión se debe hacer.

En el caso particular del proyecto no es necesario el uso de actuadores, pues la respuesta que se requiere del sistema es más bien digital, para ser más preciso en el ámbito de las comunicaciones eléctricas por medio de envíos de mensajes de texto a un celular o información a una aplicación en la nube. Por este motivo, en lugar de actuadores se utilizarán módulos de comunicación y debido a la naturaleza de los productos para los que se debe controlar el inventario se decidió el uso de sensores de peso o carga.

2.1.8. Celda de carga TAL220

La celda de carga de barra rígida TAL220 puede traducir hasta 10 kg de presión o fuerza en una señal eléctrica. Cada celda es capaz de medir la resistencia eléctrica que cambia como respuesta y en proporción a la fuerza o presión aplicada a la barra. De esta manera, se puede indicar cuál es el peso de un objeto, si este varía en el tiempo o encontrar simplemente la presencia de un objeto al medir su presión sobre

la barra.

La celda está hecha de una aleación de aluminio y cuenta con cuatro medidores de presión que se conectan en una formación de puente de Wheatstone. Este es un circuito eléctrico que se utiliza para medir resistencias desconocidas mediante el equilibrio de los brazos del puente. Estos están constituidos por cuatro resistencias que forman un circuito cerrado, una de estas es la resistencia bajo medida. La Figura 11 muestra la celda de carga:

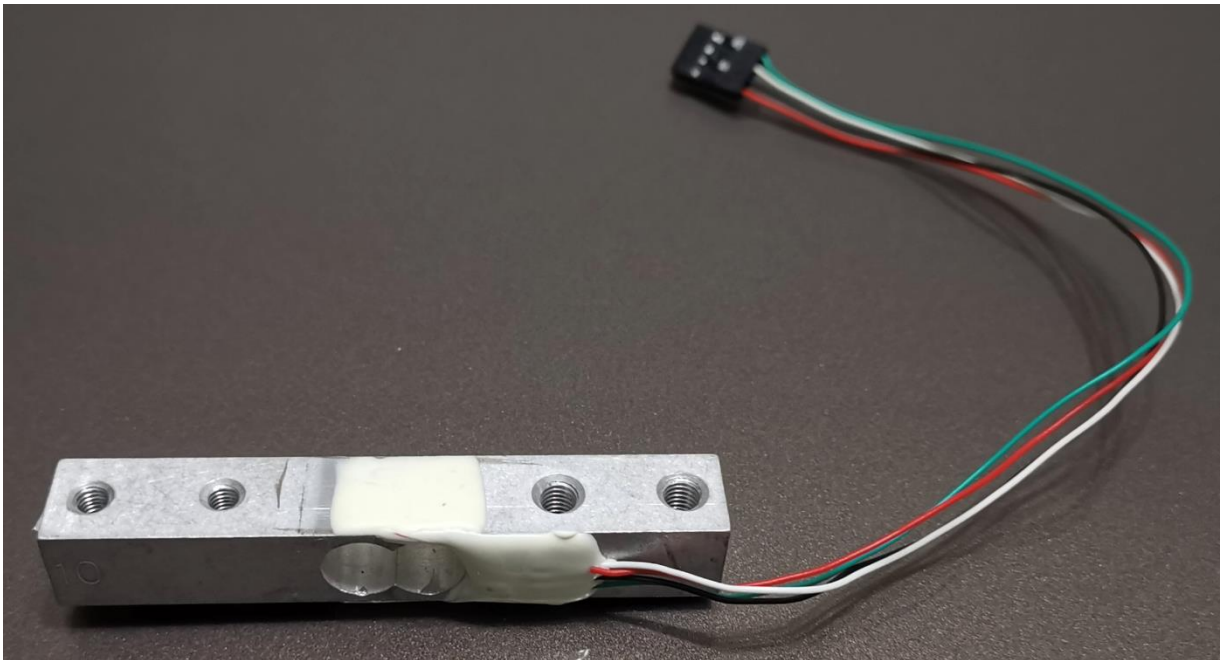


Figura 11. Celda de carga TAL-220

Fuente: elaboración propia.

El físico e inventor inglés Charles Wheatstone (1802-1875) es conocido especialmente por ser el primero en aplicar el circuito eléctrico que lleva su nombre (puente de Wheatstone) para medir resistencias. La Figura 12 muestra la configuración del puente:

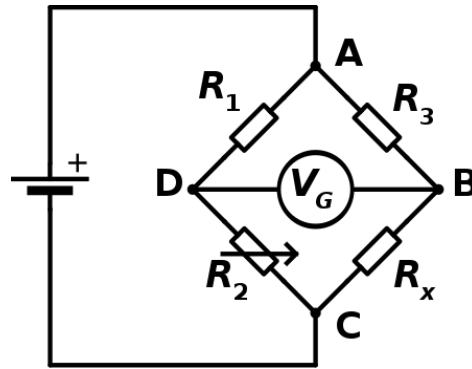


Figura 12. Puente de Wheatstone

Fuente: Nilsson y Riedel, 2008.

Como se puede observar en la Figura 12, R_x es la resistencia cuyo valor se quiere determinar. R_1 , R_2 y R_3 son resistencias de valores conocidos y, además, la resistencia R_2 es variable, lo que permite ajustar el punto de equilibrio. Si la relación de las dos resistencias de la rama conocida (R_1/R_2) es igual a la relación de las dos de la rama desconocida (R_3/R_x), el voltaje entre los puntos D y B será cero y no circulará corriente a través del galvanómetro V_G . En caso de desequilibrio, la dirección de la corriente en el galvanómetro indica si R_2 es demasiado alta o demasiado baja. Para efectuar la medición se varía la resistencia R_2 hasta alcanzar el punto de equilibrio. La detección de corriente nula se puede hacer con gran precisión mediante el galvanómetro V_G . En condición de equilibrio siempre se cumple que:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_x}{R_3}$$

$$\Rightarrow R_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot R_3$$

Cuando el puente está construido, de forma que, R_3 es igual a R_1 , R_x es igual

a R_2 en condición de equilibrio (corriente nula por el galvanómetro). Si los valores de R_1 , R_2 y R_3 se conocen con mucha precisión, el valor de R_x puede determinarse igualmente con precisión. Pequeños cambios en el valor de R_x romperán el equilibrio y serán detectados por la indicación del galvanómetro. En el caso particular del sensor los valores de R_1 , R_2 y R_3 son conocidos y R_2 no es ajustable, la corriente que fluye a través del galvanómetro puede utilizarse para calcular el valor de R_x este procedimiento es más rápido que ajustar a cero la corriente, a través del medidor. La Tabla 3 muestra las especificaciones más relevantes de la celda de carga TAL220.

Tabla 3. Especificaciones Técnicas de la Celda de Carga TAL220

<u>Característica</u>	<u>Unidad</u>	<u>Valor</u>
Capacidad	kg	3
Sobrecarga segura	%FS	120
Sobrecarga máxima	%FS	150
Salida nominal	mV/V	1.0 ± 0.15
Voltaje de excitación	V dc	5 – 10
Resistencia de entrada	Ω	1000 ± 15
Resistencia de salida	Ω	1000 ± 10
Rango de temperatura de funcionamiento	$^{\circ}\text{C}$	-10 - 55

Fuente: Sparkfun, s. f.

2.1.9. Amplificador de celda de carga HX711

El amplificador de celda de carga de SparkFun es una pequeña tarjeta de expansión para el circuito integrado HX711 que permite medir cambios en la resistencia de celdas de carga para medir pesos. El circuito HX711 es convertidor analógico digital

de 24 bits y alta precisión, diseñado para básculas y aplicaciones de control industrial que interaccionan directamente con un sensor de puente de Wheatstone. El amplificador que se muestra en la Figura 13 se puede conectar a un microcontrolador para que este pueda medir los cambios en la resistencia de la celda de carga y después del proceso de calibración se podrán obtener medidas de peso sumamente precisas.

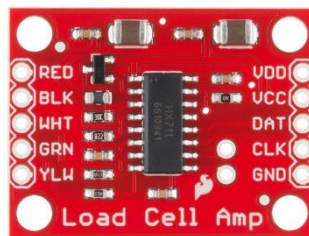


Figura 13. Amplificador de celda de carga HX711

Fuente. Sparkfun, s. f.

El HX711 utiliza una interfaz de comunicación de dos cables (reloj y datos) que se pueden conectar a cualquiera de los pines de entrada salida del microcontrolador, además de los cables de alimentación y tierra. Las celdas de carga proveen 4 cables provenientes de su puente de Wheatstone, los que se conectan directamente al amplificador HX711. Estos cables, por lo general, son de color rojo, negro, blanco y verde. Además, se adiciona un quinto conector opcional para un cable amarillo que no se conecta a la celda de carga, pero se utiliza para aterrizar y proteger la tarjeta contra interferencia electromagnética. La Tabla 4 muestra las características principales del amplificador de celda de carga HX711.

Tabla 4. Especificaciones técnicas del Amplificador de Celda de Carga HX711

<u>Especificación</u>	<u>Unidad</u>	<u>Valor</u>
Voltaje de operación	V	2.7 – 5
Corriente de operación	mA	< 1.5

Fuente: Sparkfun, s. f.

2.1.10. Sensor de distancia ultrasónico HC-SR04

El HC-SR04 es un sensor de distancia ultrasónico de muy bajo costo, que permite medir con precisión y sin necesidad de contacto directo, la distancia a la que se ubica un objeto. El rango de distancias que se pueden medir va desde los 2 y hasta los 400 centímetros, con una precisión de hasta 3 milímetros. El módulo se compone de un transmisor y un receptor ultrasónicos y un circuito de control.

Mediante un impulso en alto de al menos 10 microsegundos de duración el módulo envía, de forma automática, 8 pulsos de 40 Hz y detecta si hay una señal de vuelta, calculando la distancia con base en el tiempo que transcurre para detectarla. La distancia de prueba es igual al tiempo del impulso en alto, multiplicado por la velocidad del sonido (340 m/s) y dividido entre dos. La Figura 14 muestra el módulo HC-SR04, con sus componentes principales y sus pines de conexión. Como se puede observar, solo es necesario utilizar cuatro pines: alimentación a 5 V, tierra, el pin de impulso y el pin de eco.



Figura 14. Sensor de distancia ultrasónico HC-SR04

Fuente: Sparkfun, s. f.

Las características del módulo se muestran en la Tabla 5:

Tabla 5. Características del HC-SR04

Voltaje de operación	5 V DC
Corriente de operación	15 mA
Frecuencia de operación	40 Hz
Rango máximo	400 cm
Rango mínimo	2 cm
Ángulo de medición	15 grados
Señal pulso de entrada	Pulso TTL de 10 microsegundos
Señal eco de salida	Señal TTL de rango proporcional
Dimensiones físicas	40 x 20 x 15 mm

Fuente: Sparkfun, s. f.

2.1.11. Módulo Arduino GSM v2

El módulo GSM v2 le permite a un controlador Arduino conectarse a Internet, enviar y recibir mensajes de texto y hacer llamadas de voz usando la librería GSM. El módulo usa un radio modem GSM/GPRS M10 de Quectel, que funciona en las frecuencias GSM580 MHz, GSM900 MHz, DCS1800 MHz y PCS1900 MHz. Soporta los protocolos TCP/UDP y HTTP, a través de una conexión GPRS, con velocidades de

transmisión y recepción máximas de 85.6 kbps. Para poder conectarse a la red celular, el módulo requiere una tarjeta SIM. La Figura 15 muestra la versión más reciente:

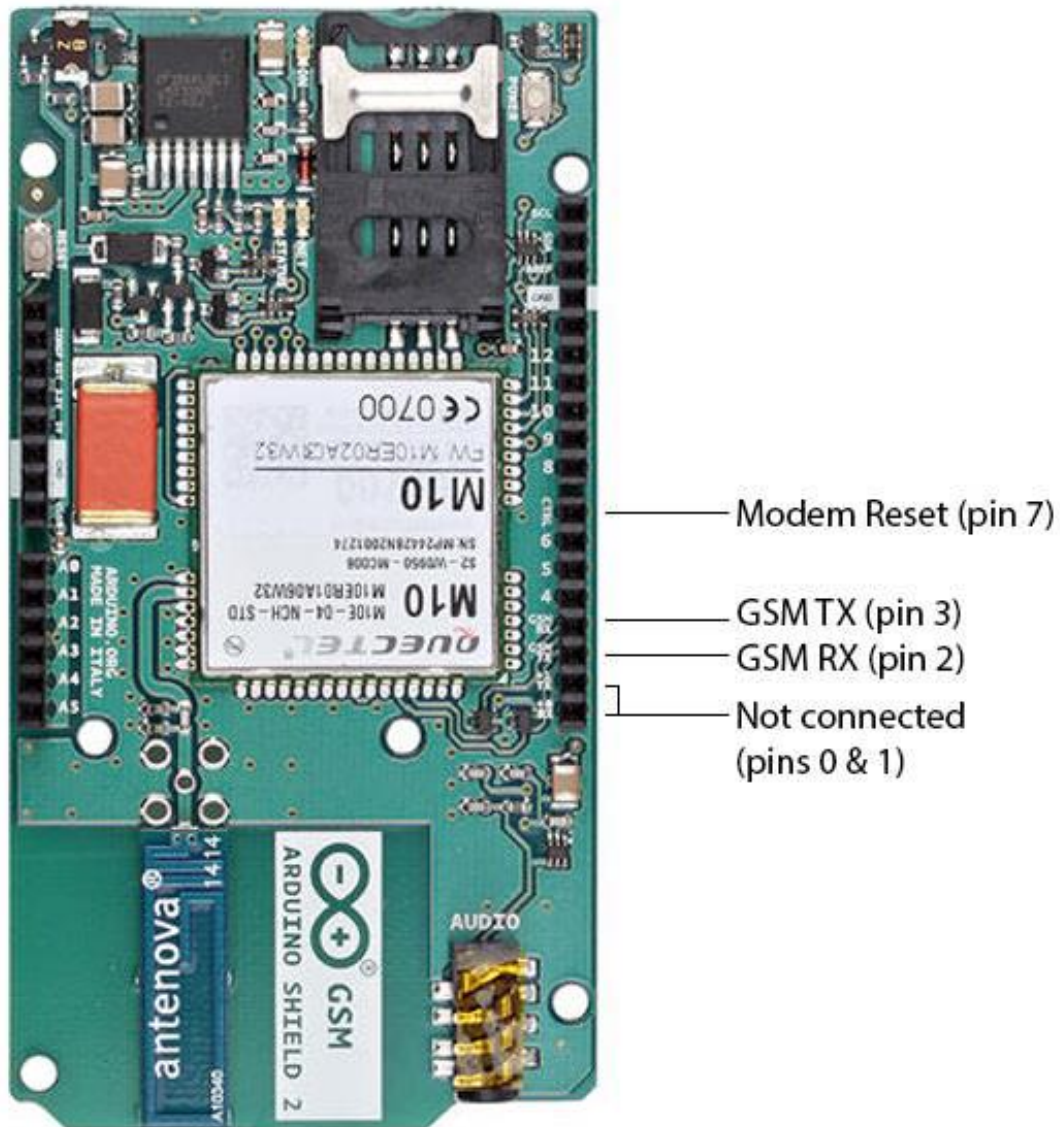


Figura 15. Módulo Arduino GSM v2

Fuente: www.arduino.cc.

2.1.12. Librería GSM

La librería GSM se incluye con el IDE de Arduino versión 1.0.4 y superiores. En conjunto con el módulo Arduino GSM esta librería le permite al microcontrolador Arduino ejecutar la mayoría de las operaciones que se pueden hacer con un teléfono GSM: hacer y recibir llamadas de voz, enviar y recibir mensajes SMS y conectarse a Internet, a través de una red GPRS. El módulo Arduino GSM posee un modem que transfiere datos desde un puerto serial a la red GSM, este opera mediante una serie de comandos AT. La librería abstrae las comunicaciones de bajo nivel entre el modem y la tarjeta SIM. Se apoya en la librería *Software Serial* para llevar a cabo la comunicación entre el modem y el controlador.

Típicamente, cada comando individual es parte una serie más grande necesaria para ejecutar una función en particular. La librería también es capaz de recibir y retornar información de ser necesario. Debido a que la librería debe llevar a cabo múltiples tipos de funcionalidad, existe un número de clases que se utilizan:

- La clase GSM se encarga de los comandos hacia el modem. Maneja los aspectos relacionados con la conectividad del módulo y registra el sistema en la infraestructura GSM. Todos los programas que requieran utilizar la red GSM/GPRS tendrán que incluir un objeto de esta clase para manejar las comunicaciones de bajo nivel.
- El manejo de las llamadas de voz lo hace la clase GSMVoiceCall.
- El envío y recepción de mensajes SMS lo hace la clase GSM_SMS.

- La clase GPRS para la conexión a Internet.
- La clase GSMClient permite implantar los servicios de un cliente.
- La clase GSMServer permite implantar los servicios de un servidor.
- Otras clases de utilidades como GSMScanner y GSMModem.

2.1.13. Librería Software Serial

El microcontrolador de Arduino cuenta con soporte embebido de comunicación serial en los pines 0 y 1 (que también se comunican con el computador, a través de la conexión USB). El soporte serial nato se da por medio de un dispositivo embebido en el ATmega chip llamado UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) por sus siglas en inglés. Este dispositivo le permite al chip ATmega recibir comunicaciones seriales incluso mientras ejecuta otras tareas, siempre y cuando no haya espacio en el buffer serial de 64 bytes.

2.1.14. GSM

GSM es un estándar internacional para telefonía móvil. Es un acrónimo que significa Global Systems for Mobile Communications, por sus siglas en inglés. Además, se le conoce como 2G, pues es la red celular de segunda generación. Para acceder al Internet a través de GPRS y para que el controlador Arduino pueda solicitar u hospedar páginas *web*, se requiere obtener el APN (Access Point Name) y el nombre de usuario y contraseña utilizados por su operador celular. GPRS es una tecnología de intercambio de paquetes cuyo significado es General Packet Radio Service y

puede brindar velocidades de transmisión entre 56 y 114 kbps.

2.1.15. Internet de las cosas

También conocido como IoT (Internet of Things, por sus siglas en inglés), es un concepto que se refiere a una interconexión digital de objetos cotidianos con Internet. Esta conexión permite que estos objetos se puedan acceder y controlar, de forma remota, para llevar a cabo tareas específicas y programarlos para efectuar estas tareas bajo condiciones determinadas, lo que los convierte en objetos inteligentes.

Las aplicaciones para dispositivos conectados a Internet son muchas debido a la capacidad de conectar a Internet dispositivos embebidos con capacidades limitadas de CPU, memoria y energía. Estos sistemas podrían encargarse de recolectar información en diferentes entornos, desde ecosistemas naturales hasta edificios y fábricas, por lo que podrían utilizarse para monitoreo ambiental y planeamiento urbanístico.

Pueden encontrarse más casos de uso en aplicaciones que se encargan de la calefacción, el suministro de agua, electricidad, la administración de energía e incluso sistemas inteligentes de transporte que asistan al conductor. Otras aplicaciones que puede proveer el Internet de las cosas es agregar características de seguridad y automatización del hogar.

2.1.16. ThingSpeak

Es un servicio de análisis de plataformas de IoT que permite agregar, observar y analizar flujos de datos en tiempo real en la nube. *ThingSpeak* provee visualización

instantánea de datos generados por dispositivos IoT. Con la capacidad de ejecutar código de MATLAB directamente sobre los datos recolectados se pueden llevar a cabo análisis y procesamiento de los datos en línea conforme se reciben.

El procesamiento y análisis de datos en tiempo real permite la toma de decisiones y envío de acciones de forma expedita, lo que brinda una amplia gama de opciones para la ejecución automática de tareas o simplemente la recolección de datos históricos para el estudio de patrones. La Figura 16 muestra algunas de las opciones de visualización de datos que es posible implantar mediante la plataforma.

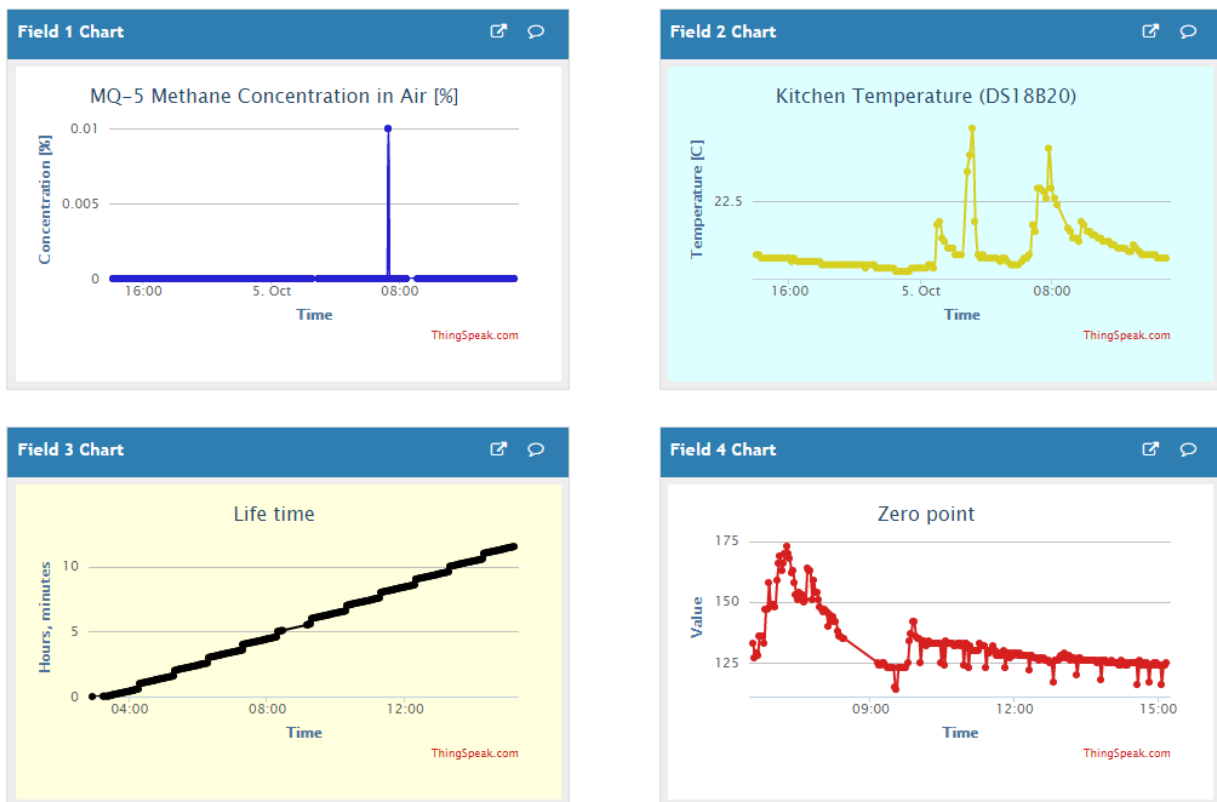


Figura 16. Visualización de Datos en ThingSpeak

Fuente: ThingSpeak, s. f.

2.1.17. Otras herramientas de análisis de datos

En el mercado existen otras plataformas para la recolección, almacenamiento y análisis de datos de dispositivos IoT. La variedad es amplia y la decisión de cuál utilizar depende de factores que van de la mano con el proyecto a implantar o problemática a resolver. Entre los aspectos más importantes que se deben considerar están:

- Facilidad de uso e implementación.
- Compatibilidad con los dispositivos IoT empleados.
- Soporte de protocolos de comunicación.
- Número de canales disponibles.
- Cantidad de datos a almacenar.
- Tiempo de retención de los datos.
- Costo de licencia.
- Frecuencia de lectura de datos.
- Seguridad de los datos.

Para el presente proyecto los elementos que se deben considerar para la selección de la plataforma son el costo, la facilidad de uso, la compatibilidad con el microcontrolador a utilizar, la capacidad de almacenar datos históricos y el número de canales disponibles. La Tabla 6 muestra una lista de las plataformas investigadas

y sus características:

Tabla 6. *Plataformas de Análisis de Datos de IoT*

<u>Plataforma</u>	<u>Características</u>
DataGekko	<ul style="list-style-type: none"> • Compatible con dispositivos IoT, requiere módulo ethernet • Costo mensual para tener una retención de datos de más de 7 días.
Beebotte	<ul style="list-style-type: none"> • Compatible con dispositivos IoT, requiere módulo ethernet. • Costo mensual para tener una retención de datos de más de 3 meses.
GroveStreams	<ul style="list-style-type: none"> • Compatible con dispositivos IoT, requiere módulo ethernet. • Almacenamiento de datos de hasta 3 años si no se sobrepasa el máximo de datos permitido.
Adafruit IO	<ul style="list-style-type: none"> • Compatible con dispositivos IoT, requiere módulo ethernet. • Costo mensual para tener una retención de datos de más de 30 días.
ThingSpeak	<ul style="list-style-type: none"> • Compatible con dispositivos IoT, con los módulos ethernet y GSM • Almacenamiento de datos de hasta 3 años si no se sobrepasa el máximo de datos permitido.

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con Borda (2013):

La palabra investigación deriva de dos raíces latinas: in, que significa en, dentro, y vestigium, que significa rastro, huella, indicio o señal, vestigio de algo. Por su parte, la palabra investigar proviene del verbo latino investigare, que alude a la acción de buscar, inquirir, indagar, seguir vestigios o la pista o huella de alguien o de algo, averiguar o descubrir alguna cosa. Así, el significado etimológico nos indica que se trata de una actividad que nos induce al conocimiento del algo (s. p.).

La investigación es un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno o problema. Históricamente, ha tenido dos enfoques principales, el cuantitativo y el cualitativo. Ambos emplean procesos cuidadosos, metódicos y empíricos por lo que la definición anterior aplica a los dos por igual. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), las principales estrategias compartidas son:

- Llevan a cabo la observación y evaluación de fenómenos.
- Establecen suposiciones o ideas como consecuencia de la observación y evaluación hechas.
- Demuestran el grado en que las suposiciones o ideas tienen fundamento.
- Revisan tales suposiciones o ideas sobre la base de las pruebas o del análisis.
- Proponen nuevas observaciones y evaluaciones para esclarecer, modificar y fundamentar las suposiciones e ideas o incluso para generar otras.

3.1.1. Enfoque cuantitativo

El enfoque cuantitativo (que representa, como dijimos, un conjunto de procesos) es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos brincar o eludir pasos. El orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones respecto de la o las hipótesis (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, s. p.).

3.1.2. Enfoque cualitativo

El enfoque cualitativo también se guía por áreas o temas significativos de investigación. Sin embargo, en lugar de que la claridad sobre las preguntas de investigación e hipótesis preceda a la recolección y el análisis de los datos (como en la mayoría de los estudios cuantitativos), los estudios cualitativos pueden desarrollar preguntas e hipótesis antes, durante o después de la recolección y el análisis de los datos. Con frecuencia, estas actividades sirven, primero, para descubrir cuáles son las preguntas de investigación más importantes; y después, para perfeccionarlas y responderlas. La acción indagatoria se mueve de manera dinámica en ambos sentidos: entre los hechos y su interpretación, y resulta un proceso más bien *circular* en el que la secuencia no siempre es la misma, pues varía con cada estudio (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, s. p.).

Debido a la naturaleza del problema que se busca resolver se considera el enfoque cualitativo el más adecuado, aunque hay una necesidad clara que se debe eliminar, existen elementos de campo y de presupuesto que podrían requerir ajustes a la propuesta inicial. La flexibilidad de la solución propuesta ante cambios en la necesidad de negocio es clave para la satisfacción de la empresa en la que se aplicará, lo que refuerza el uso de este enfoque.

3.2. FUENTES DE INFORMACIÓN

Se entiende por fuentes de información todas aquellas que permitan obtener los datos necesarios para fundamentar el estudio. Las mismas permiten validar los resultados del proyecto, por lo que se debe verificar que sean fiables y de alta calidad. Se pueden clasificar en fuentes primarias o secundarias, las cuales se describen, a continuación:

3.2.1. Fuentes primarias

Una fuente primaria provee información directa y de primera mano sobre lo que se investiga. Son contemporáneas con lo que se describe, material original que no ha sido interpretado, condensado o evaluado por otros. En este tipo de fuente se puede encontrar:

- Libros.
- Hojas de datos y manuales del fabricante.
- Documentos oficiales o informes técnicos de instituciones.
- Entrevistas.
- Patentes.
- Artículos periodísticos.

3.2.2. Fuentes secundarias

Este tipo de fuentes son las resultantes del análisis, procesamiento o interpretación de una fuente primaria. Normalmente, se encuentran en lugares como foros de opinión, artículos de interpretación y otros, en los que la información que se maneja se obtiene de una fuente externa.

3.3. SUJETOS DE INFORMACIÓN

Están definidos como las personas u objetos de estudio. Son todos aquellos que desempeñan un papel crítico en los procesos relacionados con el tema a investigar. Para este proyecto se identificaron dos sujetos de información claves para la definición de los requerimientos de la solución a implantar. El primer sujeto es la señorita Janine Araya, fundadora y propietaria del centro de bronceado 2Fancy, encargada del proceso de inventario y el éxito financiero de la pyme. Adicionalmente, será ella la usuaria principal del prototipo para el manejo remoto del inventario, por lo que la información que pueda brindar será preponderante para el éxito del proyecto.

El segundo sujeto es en realidad un conjunto de usuarios, representado por la clientela del centro de belleza y bronceado y quienes son los afectados directos cuando un servicio no se puede brindar debido a falta de materia prima. Es de vital importancia conocer cuáles serían las reacciones ante tal situación y el impacto que las mismas tendrían en el funcionamiento de la empresa. La Tabla 7 muestra los sujetos de investigación con los que se trabajará:

Tabla 7. *Sujetos de investigación*

<u>Nombre</u>	<u>Puesto Laboral</u>	<u>Relación con el tema</u>
Janine Araya Ureña	Gerente general	Propietaria
Múltiples	N/A	Cientas del centro de bronceado

Fuente: elaboración propia.

3.4. TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

En el proceso de investigación uno de los elementos más importantes es la toma o recolección de datos. De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014) “recolectar los datos implica elaborar un plan detallado de procedimientos que nos conduzcan a reunir datos con un propósito específico” (s. p.). Además, plantean:

La recolección de datos es el acopio de la información en ambientes naturales y cotidianos de los participantes o unidades de análisis; en un estudio de enfoque cualitativo el instrumento recolector de información es el propio investigador, el cual no solamente analiza la información, sino que también mediante el empleo de diversos métodos es el responsable de recolectar los datos para la investigación. Tales métodos de indagación cualitativa no son estandarizados. Se pueden implementar diferentes herramientas como observación, entrevistas, encuentros o encuestas (Hernández Sampieri *et al.*, 2014, s. p.).

Debido a la necesidad de la empresa se seleccionaron dos herramientas para la recolección de datos: la observación y el cuestionario o entrevista.

3.4.1. Observación

“Esta consiste en la recopilación de datos de manera sistemática, válida y confiable de comportamientos y situaciones observables, mediante el uso de categorías y subcategorías” (Hernández Sampieri *et al.*, 2014). Mediante la observación directa y activa del proceso de inventario del Centro de Bronceado 2Fancy se obtendrán los datos pertinentes al proceso actual y los pasos que se llevan a cabo para completarlo. Además de las condiciones físicas en las que se hace, la ubicación de los materiales y las personas, las posibilidades de automatización y reducción de error, etc. El objetivo será conocer de lleno el proceso, la meta que se busca cumplir

y cómo la solución propuesta mejorará el proceso y garantizará la validez de los datos obtenidos.

3.4.2. Entrevista

Según Hernández et al. (2014), en la entrevista “una persona calificada aplica un cuestionario a los participantes, realizando preguntas y cada uno de los entrevistados y anotará las respuestas” (s. p.). Por lo tanto, se llevarán a cabo entrevistas en forma de cuestionarios simples y cortos a la clientela del centro de bronceado, con el objetivo de comprender cuál podría ser la reacción de los usuarios de los servicios ofrecidos si estos no se encuentran disponibles debido a la falta de los materiales requeridos.

3.5. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Las variables de investigación son la base para crear la hipótesis en el desarrollo del proyecto. Es todo aquello que se mide, la información que se obtiene o los datos de que se adquieren, con el fin de responder las preguntas de la investigación, que están definidas normalmente en los objetivos específicos. Para el presente proyecto se definen una serie de variables que se presentan en la Tabla 8:

Tabla 8. *Variables de investigación*

<u>Objetivo específico</u>	<u>Variable</u>	<u>Descripción</u>
Identificar las necesidades y requerimientos específicos para el control de inventario del Centro de Bronceado 2Fancy.	Necesidades y requerimientos	Mejoras al control de inventario actual
Analizar las diferentes opciones de tecnologías existentes para que se cumpla con los requerimientos del control de inventario.	Tecnología disponible	Opciones de tecnologías para el desarrollo del proyecto
Seleccionar los componentes electrónicos que mejor se ajusten a los requisitos y presupuesto de la empresa.	Componentes electrónicos	Opciones de componentes electrónicos para la implementación del proyecto
Diseñar un prototipo de dispositivo electrónico para el control automático del inventario de materia prima crítica.	Diseño del prototipo	Elaboración del diseño del dispositivo a implantar
Construir el prototipo de dispositivo	Construcción del prototipo	Construcción del dispositivo a implantar

<u>Objetivo específico</u>	<u>Variable</u>	<u>Descripción</u>
electrónico para el control automático y remoto del inventario de materia prima crítica.		
Valorar el funcionamiento del prototipo, según las necesidades y requerimientos planteados.	Resultados obtenidos	Análisis del funcionamiento adecuado del dispositivo
Evaluar la relación costo beneficio de la implementación del dispositivo electrónico para el control automático de materia prima crítica.	Retorno de inversión	Análisis económico del costo-beneficio del proyecto

Fuente: elaboración propia.

3.6. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Una vez que se precisó el planteamiento del problema, se definió el alcance inicial de la investigación y se formularon las hipótesis (o no se establecieron debido a la naturaleza del estudio), el investigador debe visualizar la manera práctica y concreta de contestar las preguntas de investigación, además de cumplir con los objetivos fijados. Esto implica seleccionar o desarrollar uno o más diseños de investigación y aplicarlos al contexto particular de su estudio. El término diseño se refiere al plan o estrategia concebida para obtener la información que se desea con el fin de responder al planteamiento del problema (Hernández Sampieri *et al.*, 2014, s. p.).

Para el cumplimiento del objetivo general del proyecto se debe completar una serie de etapas que se relacionan entre sí y que podrían repetirse a lo largo del desarrollo e implementación del mismo. Estas etapas se relacionan directamente con los objetivos específicos y se asocian con una serie de elementos de la investigación, como las variables, metodologías, técnicas y herramientas. Cada una debe tener un tiempo de ejecución establecido, según los lineamientos definidos para la conclusión del proyecto. En la Tabla 9 se presentan estos elementos y la Figura 17 muestra un cronograma de actividades dentro del plazo brindado por la empresa.

Tabla 9. *Diseño de la investigación*

<u>Pregunta de investigación</u>	<u>Objetivo General</u>	<u>Objetivos específicos</u>	<u>Variables</u>	<u>Método de investigación</u>	<u>Herramientas de investigación</u>
¿Cuál es la mejor forma de desarrollar un prototipo de estante electrónico que permita la automatización del control de inventario de materia prima crítica para el Centro de Bronceado 2Fancy en Pérez Zeledón, notificando mediante niveles bajos de producto y habilitando la consulta de	Diseñar un prototipo de un dispositivo electrónico que determine la cantidad de producto crítico en existencia, envíe el dato vía un mensaje de texto a un teléfono celular y cree un historial de los datos para el Centro de Bronceado 2Fancy durante el segundo semestre del 2019.	Identificar las necesidades y requerimientos específicos para el control de inventario del Centro de Bronceado 2Fancy.	Necesidades y requerimientos	Descriptivo	Observación Entrevista
		Analizar las diferentes opciones de tecnologías existentes para que se cumpla con los requerimientos del control de inventario.	Tecnología disponible	Descriptivo	Tecnológico
		Seleccionar los componentes	Componentes electrónicos	Sintético	Tecnológico

<u>Pregunta de investigación</u>	<u>Objetivo General</u>	<u>Objetivos específicos</u>	<u>Variables</u>	<u>Método de investigación</u>	<u>Herramientas de investigación</u>
existencia actual mediante mensajes de texto y creando un histórico que permita determinar patrones de consumo, durante el segundo semestre del 2019?		electrónicos que mejor se ajusten a los requisitos y presupuesto de la empresa			
		Diseñar un prototipo de dispositivo electrónico para el control automático del inventario de materia prima crítica	Diseño del prototipo	Aplicado	Tecnológico
		Construir el prototipo de dispositivo electrónico para el	Construcción del prototipo	Aplicado	Tecnológico

<u>Pregunta de investigación</u>	<u>Objetivo General</u>	<u>Objetivos específicos</u>	<u>Variables</u>	<u>Método de investigación</u>	<u>Herramientas de investigación</u>
		control automático y remoto del inventario de materia prima crítica			
		Valorar el funcionamiento del prototipo, según las necesidades y requerimientos planteados.	Resultados obtenidos	Analítico	Analítico
		Evaluar la relación costo beneficio de la implementación del dispositivo electrónico para el control automático de	Retorno de inversión	Analítico	Analítico

<u>Pregunta de investigación</u>	<u>Objetivo General</u>	<u>Objetivos específicos</u>	<u>Variables</u>	<u>Método de investigación</u>	<u>Herramientas de investigación</u>
		materia prima crítica.			

Fuente: elaboración propia.

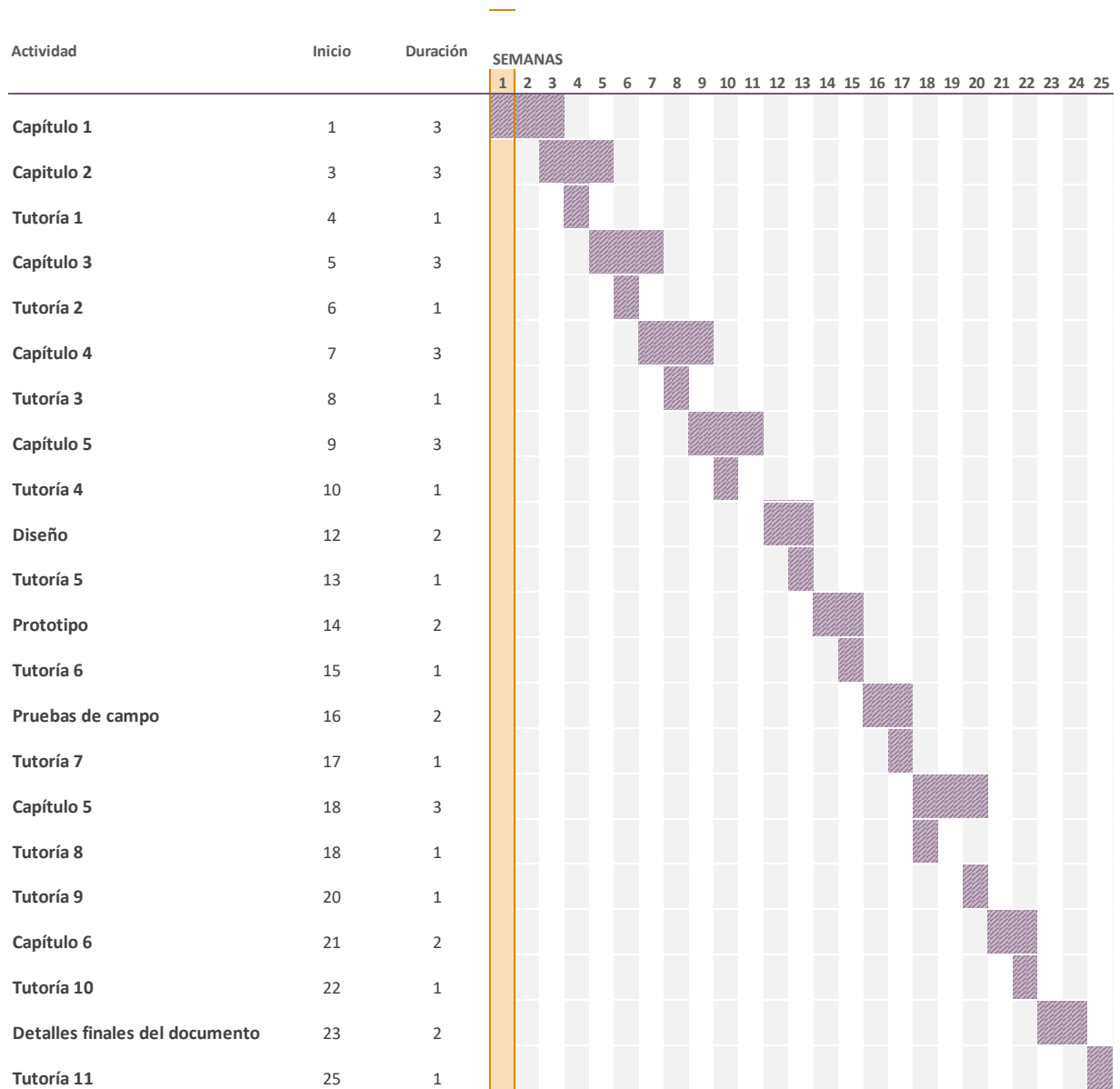


Figura 17. Cronograma de actividades

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO IV. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

4.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En el centro de bronceado se maneja una amplia variedad de artículos que se mantienen en inventario, ya sea para su venta o para usarse durante los procedimientos de bronceado, pintura de uñas, cortes, tintes y tratamientos de cabello y otros procesos. Algunos se pueden conseguir fácilmente en establecimientos comerciales como supermercados o farmacias, como papel aluminio o guantes de látex. Otros como los productos para cabello y bronceados se obtienen mediante distribuidores locales y también están aquellos que es necesario adquirir a través de distribuidores fuera del territorio nacional.

En el caso particular de los artículos que se adquieren mediante distribuidores es de suma importancia contar con estos, de forma que se puedan brindar todos los servicios y productos ofrecidos sin ningún inconveniente, la satisfacción de los clientes y el buen nombre del comercio dependen directamente de esto. El tiempo de entrega de un pedido a un proveedor puede variar desde 2 días hábiles hasta 30 días naturales, según el producto. Para el champú Davines el valor es de 12 000 colones y el tiempo normal de entrega es de 5 días hábiles, debido a que este proveedor se encuentra en la Gran Área Metropolitana y tiene rutas establecidas para la zona sur del país.

El costo de uno de estos champús en Amazon es en promedio de \$32, con un tiempo de entrega en Costa Rica de dos semanas el precio total del producto es de \$61.66. La diferencia corresponde a gastos de envío y pago de impuestos de importación, que se trasladarían al cliente cuando lo adquiere o los asume la

empresa si es para uso en los servicios prestados. La opción restante, si se presenta un desabastecimiento imprevisto, es comprar el producto en otro comercio que no sea un distribuidor, sino que venda al usuario final. No obstante, esto podría significar un aumento de hasta un 40 % en el precio a pagar, por lo que una vez más está clara la necesidad del control de inventario correcto para mantener los costos operativos en un rango adecuado.

El proceso de mantenimiento de inventario depende, de forma exclusiva, de la propietaria del centro de bronceado. Este efectúa manualmente, por medio de un registro en una libreta, en la que se contabilizan, de manera visual, los productos en existencia y se anota el detalle de lo que se debe pedir en la próxima orden a los proveedores.

Los productos se encuentran almacenados en cajas en un área de propósito múltiple, que se utiliza como bodega y cocina y, normalmente, la validación del inventario se hace después de que termina la jornada laboral, entre las 7 y 9 de la noche. Después de todo un día de trabajo es fácil cometer errores, por lo que el proceso se debe llevar a cabo con sumo cuidado y esto implica esfuerzo y tiempo. La investigación se enfoca en varios elementos del proceso de inventario y sus limitaciones actuales.

Entre los aspectos más relevantes a mejorar se encuentra la calidad de los datos que se obtienen durante el proceso de inventario, pues, en la actualidad, existen múltiples factores que ponen en riesgo su validez. La toma de datos se hace de forma manual y, a pesar de que se registra en una libreta que se dedica a este fin,

es difícil obtener históricos que permitan predecir patrones de consumo. El lugar en el que se almacenan los artículos no se dedica exclusivamente a este fin y, en ocasiones, toma tiempo encontrar todos los productos que se desean contabilizar, pues no existe una ubicación única para estos artículos.

En caso de que se requiera validar la información existente, es necesario volver al local y hacerlo de forma manual, no existe la posibilidad de revisar el inventario de manera remota. Lo anterior, en ocasiones, pone en riesgo la seguridad del personal que debe quedarse después de cerrar el local y salir a altas horas de la noche con el efectivo que se recibió durante el día. Para los productos que se tienen que ordenar por medio de proveedores es indispensable tener la información para crear la orden. Debido a esto, se busca efectuar el chequeo de materiales existentes de forma remota, precisa y, además, brindar datos históricos de fácil acceso para predecir comportamientos de consumo.

4.2. RECOLECCIÓN DE LOS DATOS

Para recolectar la información que permita comprender el proceso actual de control de inventario, sus limitaciones y debilidades, oportunidades de mejora y requisitos del proceso deseado, se decidió utilizar dos herramientas diferentes: la observación y la entrevista. La primera se utiliza para llevar a cabo una inspección detallada de las condiciones bajo las que se desarrolla la actividad de creación y mantenimiento del inventario, los pasos utilizados y los retos que presenta. La segunda se aplicará a la propietaria del centro de bronceado para conocer cómo desea que se haga el proceso y a algunos de sus clientes para determinar el posible impacto que podría generar un manejo inadecuado del inventario a la economía y reputación del negocio.

4.2.1. Observación

El proceso de observación se enfocó específicamente en las condiciones bajo las cuales se lleva a cabo el inventario. Fue de especial interés prestar atención a las condiciones en las que se almacenan los artículos utilizados en los diferentes servicios que ofrece el establecimiento y aquellos disponibles para la venta a la clientela. Como se mencionó en la sección anterior, no existe un área en la planta física que esté dedicada exclusivamente para el almacenamiento de los productos, sino que estos se ubican en el mismo lugar que se usa como comedor y cocina. Algunos están colocados, de forma estratégica, en mostradores con el objetivo de que la clientela tenga fácil acceso a la gama de productos disponibles para la venta. La Figura 18 muestra el área compartida de almacenaje y cocina. Los mostradores

de productos se observan en la Figura 4 del Capítulo I.



Figura 18. Área compartida de almacenaje y cocina

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en ambas figuras y se logró comprobar de forma presencial, para llevar a cabo el proceso de inventario es necesario que la persona a cargo mueva varias cajas en búsqueda de los productos que desea validar. Una por una debe abrirlas y contar la cantidad de artículos en existencia, anota la fecha del día y el dato en la libreta con la que después hará las diferentes órdenes de compra o, en su defecto, la lista de compras del supermercado.

El siguiente paso es la validación de los productos en exhibición, que es mejor completar después de cerrar el local para evitar la distracción de los clientes y, a la vez, evitar incomodarlos, pues muchos se encuentran en el área de trabajo. Queda claro, además, que, aunque existiera una bodega el proceso no se podría llevar a cabo durante la jornada laboral, pues la propietaria es también quien se encarga de

los procedimientos estéticos que ocupan la mayor parte del día.

Al consultar acerca de si se da un análisis posterior de los movimientos de los productos la respuesta fue pronta y franca, es muy difícil observar la información en la libreta. Esto debido a que, para consolidar y relacionar la información de un periodo, por ejemplo, un mes, es necesario buscar en diferentes páginas y el orden en que se valida cada producto no es siempre el mismo, lo que dificulta todavía más el proceso.

Además, si el proceso fuera repetitivo y con un orden de revisión de productos establecido sería muy laborioso transcribir la información de todo un mes. Al consultar por qué no se ha planteado llevar el control en una hoja de Microsoft Excel indicó que esto haría el proceso más lento y, actualmente, no se encuentra valor agregado al efectuarlo de esta forma.

4.2.2. Entrevistas

Se llevaron a cabo dos entrevistas diferentes para el desarrollo del proyecto. La primera se orientó a las posibles repercusiones en la satisfacción de la clientela ante eventuales retrasos o cancelación de los servicios debido a faltante de materia prima y consta de cinco preguntas cortas. Esta se puede encontrar en la sección de anexos y se diseñó para que no tomara más de 5 minutos completarla y que fuera genérica sin necesidad de aportar datos que permitieran identificar al cliente con el objetivo de que las respuestas fueran lo más honestas posible. Por este mismo motivo, todas las preguntas son de selección única y no se solicita ningún tipo de comentario. Se encuestó a 30 personas y los resultados se pueden observar en el Gráfico 1.

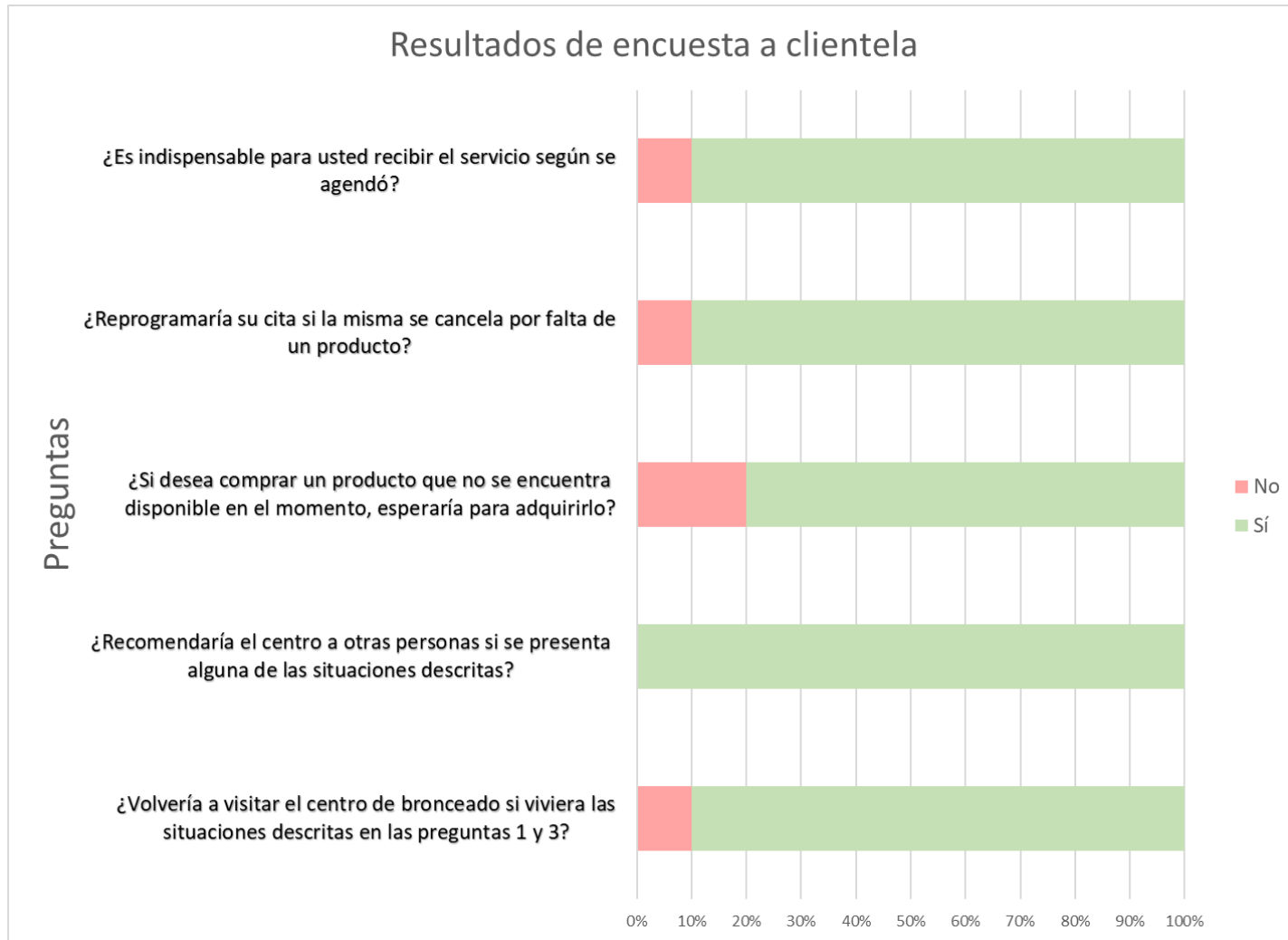


Gráfico 1. Resultados de encuesta de clientela

Fuente: elaboración propia.

A partir del Gráfico 1 es fácil entender que el impacto a la satisfacción de los clientes, a la reputación del negocio y la probabilidad de mantener la clientela son sumamente negativos. Solo un 10 % de la clientela entrevistada estaría dispuesta a aceptar un cambio de fecha de su cita si el mismo se debe a falta de alguno o varios de los productos necesarios para el procedimiento agendado y considera, además, que recibir el servicio en la fecha programada no es indispensable. Está claro que la flexibilidad con la que se cuenta es baja y es de vital importancia llevar a cabo los procedimientos agendados sin falta.

En la compra de productos de belleza de venta en el centro de bronceado existe un rango de flexibilidad un poco más amplio, aunque no lo suficiente para pensar que el manejo adecuado del inventario se pueda tomar a la ligera. Un 80 % de las entrevistadas buscaría el producto deseado en otro lugar y el 20 % restante estaría dispuesta a que se le informe cuando el producto se encuentre disponible para regresar a comprarlo.

En la actualidad, las recomendaciones, ya sea, de forma verbal o por medio de redes sociales y comentarios en sitios *web*, se pueden convertir en el mejor aliado de un negocio o en su peor enemigo. En el caso de las personas entrevistadas el 90 % no volvería a contratar los servicios ofrecidos y, absolutamente, nadie recomendaría los servicios a terceros. Además, se llevó a cabo una entrevista a la propietaria del Centro de Bronceado, Belleza y Estética 2Fancy con el objetivo de conocer las condiciones y características deseadas en el prototipo a implantar para la mejora, por medio de una solución electrónica, del manejo del inventario de materiales esenciales.

El principal requisito planteado es la necesidad de hacer la validación de los productos en existencia de forma remota, con el objetivo de eliminar la necesidad actual de estar en el local después de terminar la jornada laboral. Específicamente, se desea recibir información vía mensajes de texto al teléfono celular de la propietaria cuando se alcance el límite establecido por ella y que indica que es necesario llevar a cabo una nueva orden de compra.

Asimismo, se plantea el deseo de poder, mediante el teléfono celular, validar el número de ítems en existencia. Esto se debe a que existen momentos en los que cuenta con el tiempo para crear una orden de compra, los domingos, por ejemplo, pero la única manera de comprobar si se está cerca de alcanzar el nivel definido para la alerta sería desplazándose al local. Mediante la consulta no programada es posible validar, de forma remota, si tiene sentido pedir más producto.

Al consultar acerca de patrones de consumo, se indicó que es algo que no se ha hecho hasta el momento, pero sería de mucho valor, pues se podría conocer de antemano la necesidad de ordenar una mayor cantidad de artículos. Un ejemplo que se brindó fue la época de las fiestas de fin e inicio de año, cuando la frecuencia de citas es mayor debido a la cantidad de actividades sociales que se programan. Caso similar es la época de graduaciones de escuelas y colegios.

El contar con un historial de movimiento de producto podría permitir conocer con mayor certeza estos y otros patrones, lo que eliminaría la necesidad actual de llevar a cabo múltiples órdenes a proveedores en un mismo mes calendario. Para este requisito no es necesario que la información se envíe al teléfono y el uso de una

página *web* o aplicación sería adecuado.

En cuanto a la capacidad del prototipo, se estableció que este debe manejar un mínimo de seis unidades, que para el producto seleccionado para el plan piloto es el número que normalmente se solicita en cada orden. Es claro que es posible que exista un remanente de producto al recibir un nuevo pedido, por lo que se estimó que el manejo de nueve unidades es el número ideal. La Tabla 10 muestra el resumen de los requisitos de funcionamiento del prototipo electrónico a diseñar e implantar:

Tabla 10. *Requisitos del prototipo*

<u>Requisito</u>	<u>Alcanzado</u>
Permitir comunicación vía mensajes de texto	
No depender del servicio de Internet del local	
Alertar cuando se alcanza el nivel de producto mínimo establecido	
Permitir la validación remota de inventario	
Contar con una manera alternativa de control en caso de falla del mecanismo primario	
Proveer un historial de movimiento del producto	
Brindar un modo de mantenimiento para evitar el ingreso de datos falsos durante la limpieza del estante	
Posibilidad de incluir otros productos en el futuro	
Restricción del dispositivo desde el que se hacen las consultas	
Envío de alertas a varios dispositivos	

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO V. DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

En los capítulos anteriores se describió la problemática de control de inventario de materia prima que actualmente existe en el Centro de Bronceado, Belleza y Estética 2Fancy. Este capítulo se enfoca en describir la solución propuesta, sus diferentes etapas y componentes y sobre cómo se implementará para solventar las distintas necesidades planteadas.

Para esto se propone la elaboración de un prototipo de dispositivo electrónico que cuente con tres etapas. La primera valida por medio de sensores la presencia de producto, la segunda se encarga de aplicar la lógica necesaria para el cálculo de la cantidad de producto y tomar las acciones de control correspondientes. La tercera y final es la de comunicación que recibe y contesta solicitudes del administrador y le envía información y alertas cuando se requiera.

De esta forma, el prototipo propuesto elimina el error humano al brindar un dato preciso acerca de la existencia del material crítico almacenado a conveniencia del usuario. Esto libera al personal de la necesidad de estar presente en la empresa y permite que el cierre de operaciones se dé, según lo planeado. La gerente podrá salir del local comercial acompañada por las otras colaboradoras, lo que disminuirá el riesgo de un posible asalto.

Además, se plantea el almacenamiento en la nube de los datos de consumo, de manera que cada vez que se retire o adicione producto el movimiento quede registrado y esto permita llevar a cabo un análisis del patrón de consumo del mismo. En las siguientes secciones se describe el proceso de diseño del estante y las tres

etapas electrónicas, la selección de los componentes a utilizar y cómo se pondrá en funcionamiento el prototipo. Se finaliza con un análisis de costos del producto y su percepción tras su uso, con base en los requisitos planteados por la administradora del negocio.

5.2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

El prototipo por diseñar debe cumplir con una serie de características físicas y de funcionamiento. Para esto es necesario hacer un estudio de las tecnologías y componentes existentes, su funcionalidad y costo y determinar cuáles se deben seleccionar. Por consiguiente, se inicia con el diseño de las características físicas del estante, el cual debe almacenar un máximo de nueve botellas de champú y podría estar ubicado en el área compartida para almacenaje y cocina o en el área de trabajo donde se atienden los clientes. Por este motivo es importante que visualmente sea de aspecto agradable. La siguiente etapa contiene los módulos de sensado, control y comunicación. La Figura 19 muestra un diagrama de bloques general del sistema, con sus etapas, conexiones y componentes.

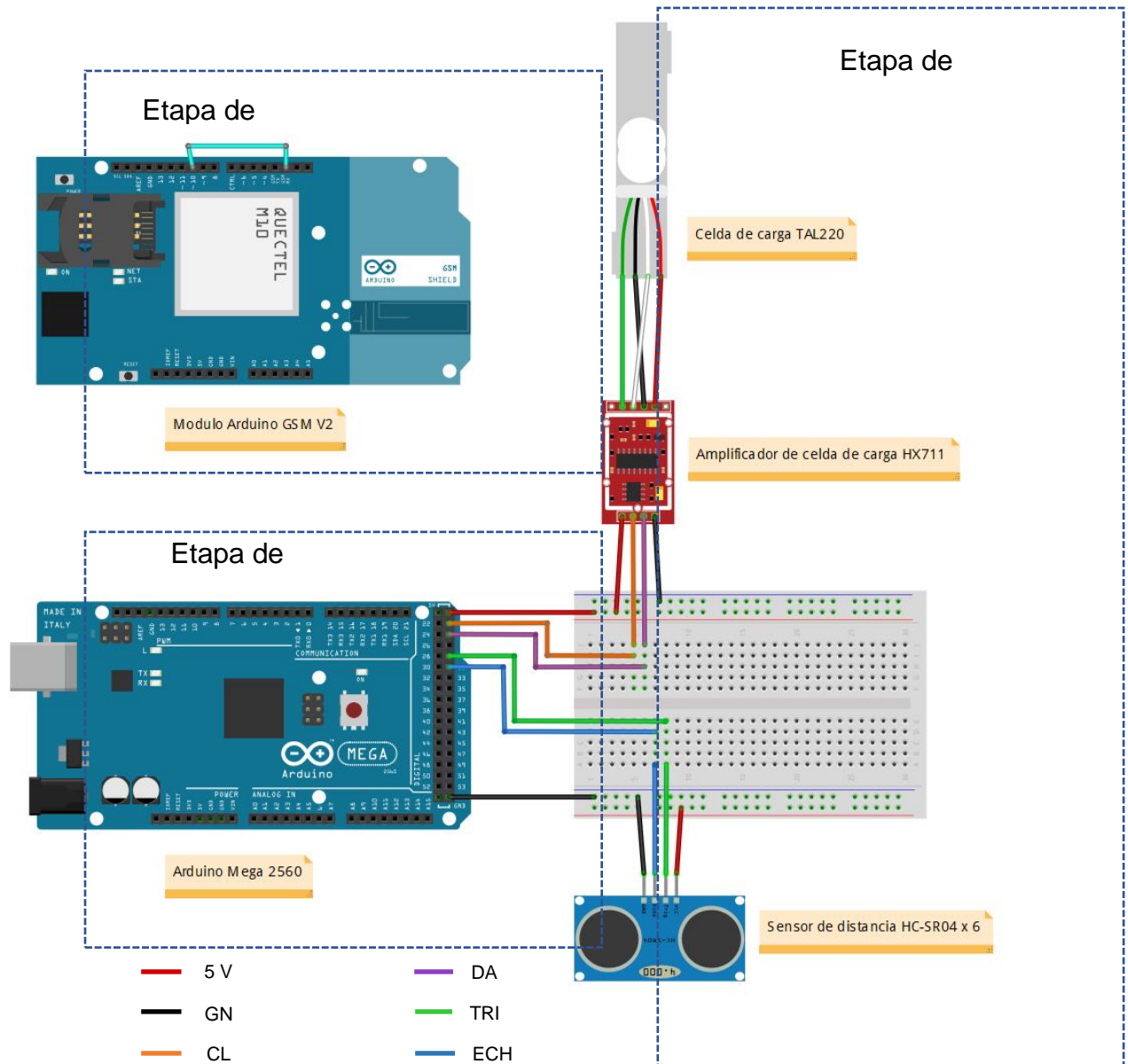


Figura 19. Diagrama de Bloques General del Sistema

Fuente: elaboración propia.

5.2.1. Estructura física

Uno de los requisitos básicos del proyecto es controlar el inventario de hasta nueve unidades de champú, como la que se muestra en la Figura 20. Para este fin es indispensable conocer las características físicas del producto, que en este caso es

una botella de 13 cm de alto y con un diámetro de 7 cm.



Figura 20. Botella de champú Davines

Fuente: elaboración propia.

Para almacenar, de forma adecuada, los nueve elementos es necesario tener una base cuadrada de al menos 20.5 cm de lado. Esta estará montada sobre el sensor de peso, sujeta al mismo mediante dos tornillos de 4 mm de diámetro, que de acuerdo con las pruebas deben ubicarse en uno de los extremos. Al revisar casos de uso de la celda de carga se observa que se puede colocar en el centro de la base, razón por la que se decidió tener cuatro agujeros que permitan cualquiera de las dos configuraciones, como se muestra en la Figura 21.

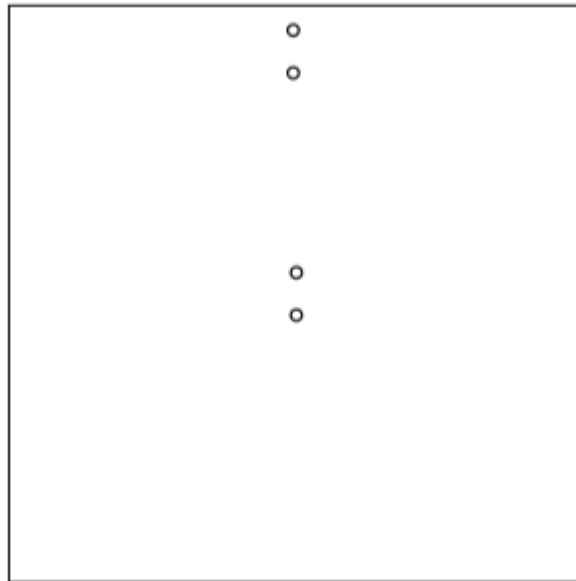


Figura 21. Base para colocar el producto

Fuente: elaboración propia.

El siguiente paso para el diseño del prototipo es el estante o caja donde se ubicará la base. Para el cálculo de sus dimensiones es necesario tener en cuenta las limitantes de funcionamiento de los sensores de distancia, que pueden medir como mínimo dos centímetros y en las pruebas de campo se comprobó que para valores menores las lecturas tienden a estar en el rango de los miles de centímetros, lo cual es claramente un error.

Por este motivo se decidió dejar un espacio de cinco centímetros entre el borde de la base y las paredes del estante en las que se ubican los sensores de distancia, lo que garantiza una lectura válida para todas las posibles ubicaciones de los productos. Esto se evidencia en la Figura 22, que muestra la vista superior del estante.

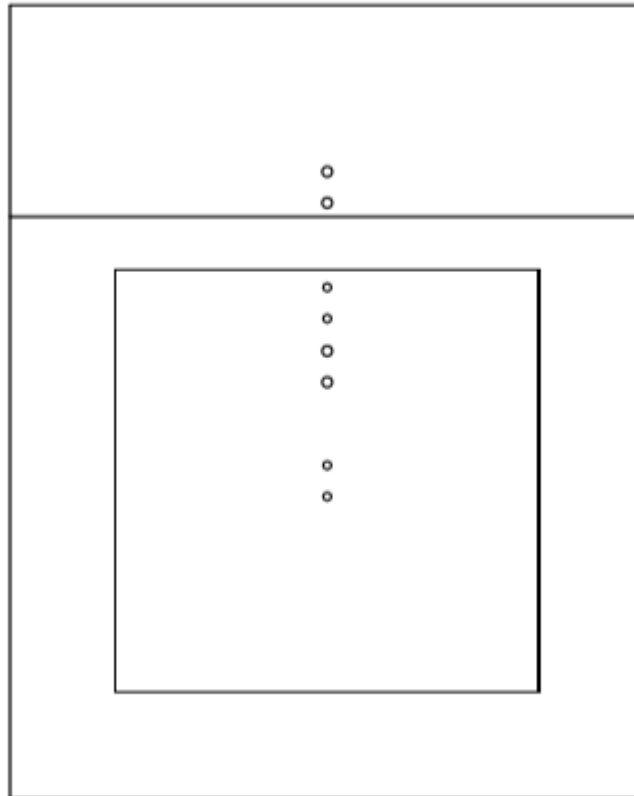


Figura 22. Vista superior del estante

Fuente: elaboración propia.

La Figura 22 también muestra un total de ocho agujeros, cuatro en la base que se muestran también en la Figura 21 y cuatro adicionales que se encuentran en la base del estante y tienen un diámetro de 5 mm. Estos permiten fijar el sensor de peso. La ubicación de los sensores de distancia se diseñó de manera que los mismos se ubiquen lo más alineados con las botellas posible, centrados con respecto a la base en la que se ubican y a una altura de 10 cm que permita detectarlas sin inconveniente. La Figura 23 y la Figura 24 muestran las vistas frontal y lateral respectivamente, que evidencian los agujeros para los sensores y su cableado, que estará dentro del estante y sale hacia los sensores por los orificios rectangulares.

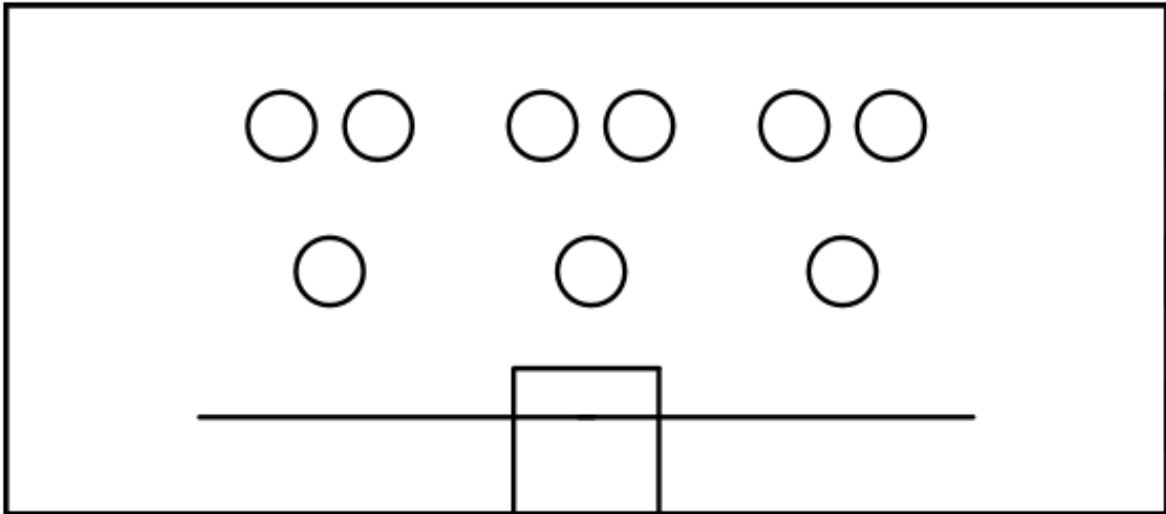


Figura 23. Vista frontal del estante

Fuente: elaboración propia.

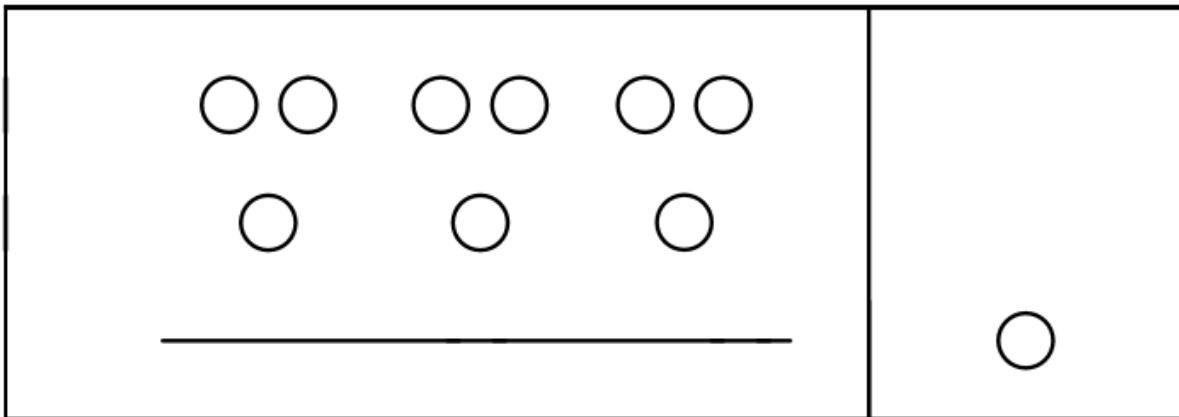


Figura 24. Vista lateral del estante

Fuente: elaboración propia.

Tanto en la vista lateral como en la superior se puede apreciar una línea o pared que divide el estante, lo que crea un espacio en la parte posterior del mismo en donde se ubicarán los componentes electrónicos de las etapas de control, comunicación y sensado. La pared tiene una abertura en el centro en la que se ubicará el sensor de peso y por la que se introducirán los cables que conectan los sensores de distancia a la etapa de control.

Además, en la Figura 24 se puede apreciar un orificio circular en la sección en la que se ubicarán los componentes electrónicos, el cual permitirá el ingreso del cable de alimentación eléctrica del sistema. Esta sección contará, además, con una tapa en la parte superior para evitar que se observe su contenido, pero que, a la vez, permite el fácil acceso a los elementos ahí almacenados. La Figura 25 muestra una vista en tres dimensiones del estante y la base juntos, que corresponde a la visualización final del prototipo que se implementará en el centro de bronceado. Las siguientes secciones describen el diseño y funcionalidad de las etapas de sensado, control y comunicación.

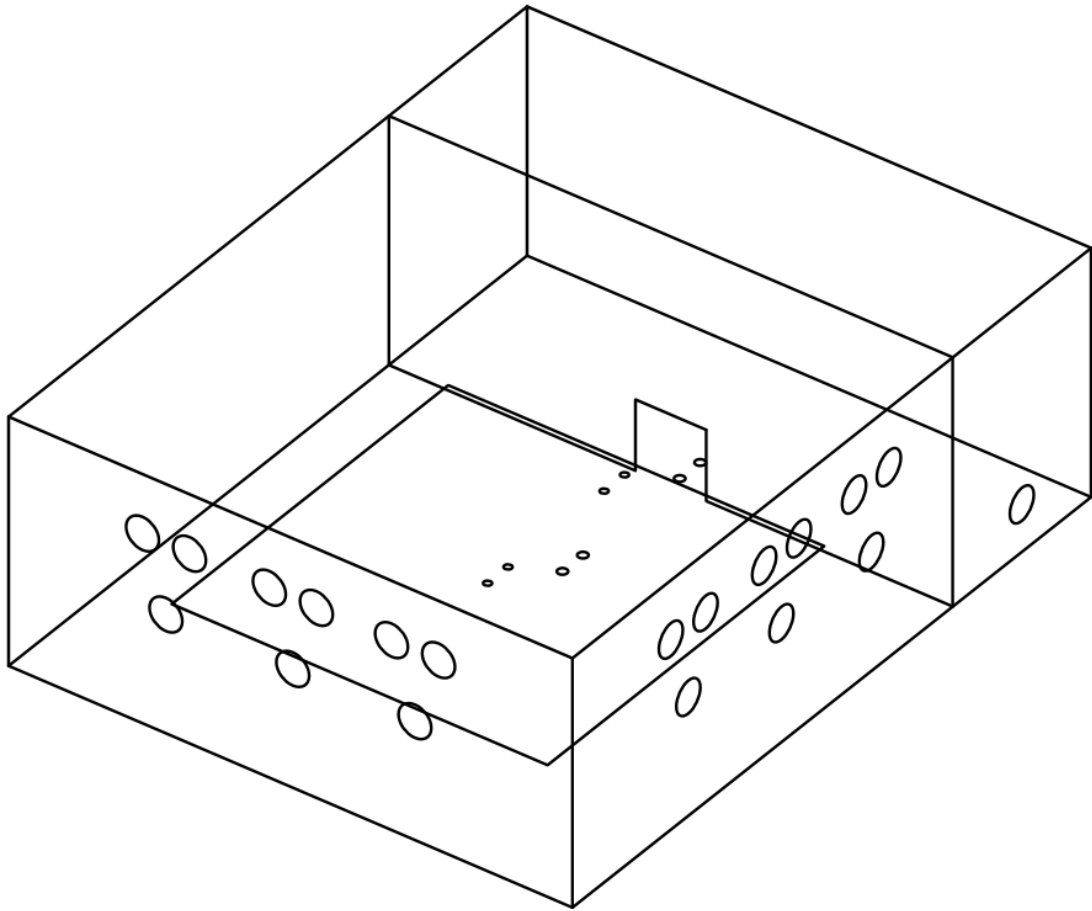


Figura 25. Vista en tres dimensiones del estante

Fuente: elaboración propia.

5.2.2. Etapa de sensado

El objetivo principal de esta etapa es capturar información acerca de la cantidad de producto que se encuentra sobre el estante. Para esto existen dos fuentes de datos, la primaria es la celda de carga TAL-220 y la secundaria son los sensores ultrasónicos de distancia HC-SR04. Ambos se muestran en la Figura 18, en la sección llamada etapa de sensado y se describen con mayor detalle, a continuación:

5.2.2.1. Sensor de peso

Como se mencionó, el sensor de peso o celda de carga TAL-220 es la fuente principal de datos para determinar la cantidad de producto que está sobre el estante. Puede brindar, de forma precisa, el peso que se encuentra en el mismo, mediante la detección de variaciones de resistencia en la barra debido a la presión que se ejerce sobre esta, que se traduce en cambios en el voltaje entre las terminales de salida.

La señal de salida que muestra estas variaciones es analógica y del orden de los milivoltios. Por esta razón, es necesario amplificarla y convertirla en una señal digital que pueda interpretarse en la etapa de control mediante el uso de un amplificador y convertidor analógico digital (CAD) HX-711 y a la vez, traducida en un valor con sentido para el usuario final.

Este dispositivo puede sensor pesos de hasta 10 kilogramos, que para el proyecto en desarrollo es más que suficiente, ya que el número máximo de botellas a colocar en el estante es de nueve, para un peso total aproximado de 2.7 kilogramos. De esta manera, no solamente se puede garantizar la operación dentro del rango definido, sino que, además, brinda capacidad para crecimiento futuro para el producto actual o su uso para otros productos de mayor peso.

En relación con el consumo eléctrico, la suma de la corriente requerida por ambos dispositivos es de solo 1.5 mA, muy por debajo de la capacidad del microcontrolador que se utilizará. La Figura 26 muestra un diagrama de los componentes usados para determinar el peso de los artículos colocados sobre el estante:

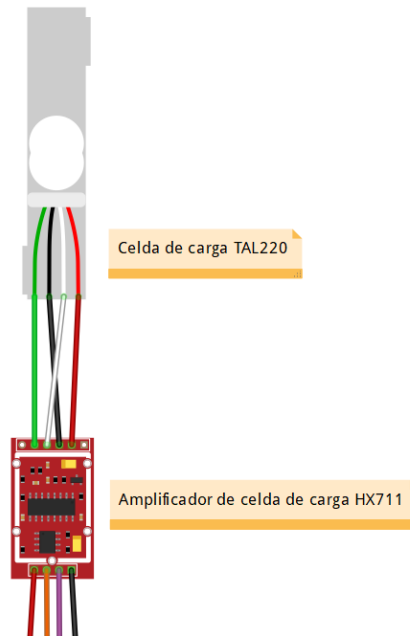


Figura 26. Diagrama del sensor de peso, amplificador y CAD

Fuente: elaboración propia.

La programación del controlador Arduino Mega requiere de varios elementos, el primero de estos es el factor de calibración para reportar en las unidades correctas. En este caso en particular el peso de las botellas de champú, según las mediciones hechas, ronda entre 0.290 y 0.300 kilogramos, por lo que se debe utilizar un factor de conversión de 200000 para que los valores reportados sean consistentes con la unidad de peso requerida.

Para la configuración adecuada y funcionamiento del sensor, es necesario utilizar una librería llamada HX711.h. Una vez inicializada se procede a declarar los pines que se utilizarán para la señal de reloj, así como los datos, las variables y constantes necesarias para el cálculo de la cantidad de unidades, como:

- `unidades_actual`: variable que almacena el número de unidades detectados en la corrida actual, calculado al dividir el peso que reporta el sensor entre

el peso unitario del producto.

- `unidades_anterior`: variable que almacena la cantidad de unidades existentes en la corrida anterior. La primera vez que corre el programa su valor es cero.
- `unidades_limite`: constante que representa el número de unidades en existencia para generar la alerta de inventario bajo y ordenar producto adicional.
- `valor0`: variable que almacena la primera lectura del sensor de peso, se inicia con un valor de 0.
- `valor1`: variable que almacena la lectura actual del sensor de peso.
- `peso_unitario`: constante que define el peso de cada unidad de producto.

Al inicio del ciclo las variables `unidades_actual`, `unidades_anterior`, `valor0` y `valor1` se inicializan en cero, pues al iniciar el sistema se debe retirar todo el producto del estante para la calibración adecuada del sensor de peso. La Figura 27 muestra los segmentos del código relacionados con el sensor de peso.

```

//Incluir la librería HX711
#include "HX711.h"

//Configuración del HX711
  Serial.println("Inicializando la báscula");
  scale.set_scale(calibration_factor);
  scale.tare(); //Asumiendo que no hay nada en la
               //váscula al iniciar el sistema,
               //se coloca la misma en 0.

//Lectura de peso actual y calculo de unidades actuales
valor1 = scale.get_units();|
unidades_actual = valor1/peso_unitario;
Serial.println();
Serial.print("Unidades según sensor de peso: ");
Serial.println(unidades_actual);

```

Figura 27. Segmentos de código relacionados con el sensor de peso

Fuente: elaboración propia.

5.2.2.2. Sensor de distancia

Los dos parámetros que permiten la detección del producto son su peso y su presencia en el estante. Los sensores ultrasónicos de distancia se incorporan al sistema como una opción para validar los datos que brinda el sensor de peso. El objetivo principal es verificar si el sensor de peso envía información correcta, por lo que se hicieron dos validaciones:

- Si el sensor de peso reporta cero unidades, pero los sensores ultrasónicos detectan producto en el estante.
- Si el sensor de peso reporta un valor de una o más unidades, pero los

sensores ultrasónicos no detectan producto en el estante.

En ambos casos se envía una alerta vía mensaje de texto a la administradora, informándole de la posible falla y solicitando que se verifique. En el momento en que los valores reportados vuelvan a cumplir con el proceso de validación se envía un nuevo mensaje de texto a la administradora, en el que se le indica que el sistema regresó a la normalidad.

En total el sistema cuenta con seis sensores de distancia, ubicados en la cara frontal y lateral derecha del estante, como se muestra en la Figura 23 y la Figura 24. La distancia entre los sensores laterales y la pared opuesta del estante es de alrededor de 30 centímetros, mientras que los que se ubican en la cara frontal se encuentran cerca de 28 centímetros del lado contrario. Según la distancia reportada por cada sensor es posible determinar si hay un objeto en la base del estante, como se describe en la Tabla 11:

Tabla 11. *Lógica de sensado por distancia*

<u>Sensores</u>	<u>Distancia reportada en cm</u>	<u>Cantidad de unidades</u>
1 al 6	> 21	0
1 y 2	< 21 y < 21	1
3 y 2	< 21 y < 14	2
1 y 4	< 14 y < 21	3
2 y 5	< 7 y < 21	4
1 y 6	< 7 y < 21	5
3 y 4	< 14 y < 14	6
3 y 6	< 7 y < 14	7
4 y 5	< 7 y < 15	8

<u>Sensores</u>	<u>Distancia reportada en cm</u>	<u>Cantidad de unidades</u>
5 y 6	< 7 y < 7	9

Fuente: elaboración propia.

Los sensores utilizados son del modelo HC-SR04 que, como se explicó en el Capítulo II, pueden medir distancias entre los 2 y 400 centímetros, mediante el envío de un tren de pulsos en un tiempo y a una frecuencia conocidos y midiendo el tiempo que tarda la misma en retornar después de rebotar en el objeto. Estos rangos de funcionamiento son aptos para las dimensiones del prototipo y las necesidades del proyecto. Adicionalmente, se alimentan con 5 V y su consumo eléctrico individual es de tan solo 15 mA, para un total de 90 mA para los seis sensores a utilizar. La Figura 28 muestra la conexión del sensor de distancia al microcontrolador.

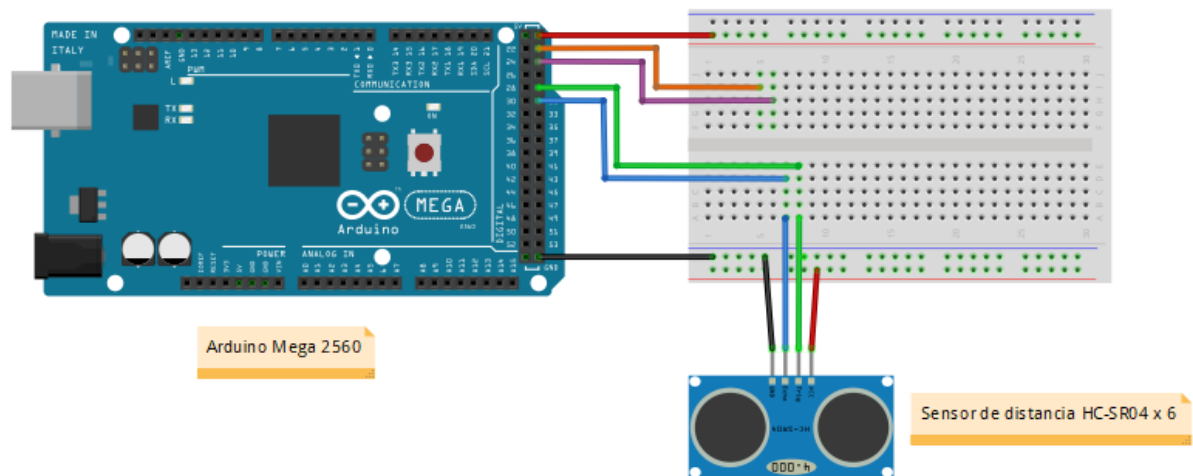


Figura 28. Diagrama del sensor de distancia y microcontrolador

Fuente: elaboración propia.

El reporte correcto de la cantidad de unidades presentes depende de si se respeta el orden en el que se colocan y retiran las botellas. Al ubicarlas en el estante se debe iniciar en la posición número 1 y seguir la secuencia hasta terminar en la número 9. Cuando se retire el producto se debe seguir el orden inverso, iniciando por

la posición 9 y hasta llegar a la 1. Cada posición se encuentra claramente identificada en la base mediante etiquetas con el número correspondiente, como se muestra en la Figura 29:



Figura 29. Identificación de posiciones en la base del estante

Fuente: elaboración propia.

Si este orden no se sigue y se coloca y remueve el producto de forma arbitraria, la cantidad de unidades reportadas no será la correcta y la única función de los sensores de distancia será determinar si existe una discrepancia en los datos reportados por el sensor de peso. Detalles acerca de la lógica de sensado y posicionamiento de los productos en el estante pueden encontrarse en el Anexo 8.

Para el funcionamiento adecuado de esta etapa de sensado es necesario definir, para cada sensor, los pines que se utilizarán para enviar el tren de pulsos y recibir la señal de eco. Además de las variables para almacenar el tiempo que tarda en llegar el eco y otra para almacenar el valor de la distancia a la que se encuentra el objeto en centímetros. Hay una última variable requerida, que almacena la cantidad

de unidades existentes, según la lógica de sensado que muestra la Tabla 11.

Finalmente, se incluye la lógica para el cálculo de las distancias, la determinación del número de unidades y la detención y recuperación de las inconsistencias entre los dos sistemas de sensado. La Figura 30 muestra los fragmentos de código creados para tal fin:

```
//Lectura de sensores ultrasónicos
//Se envía un pulso de 10 microsegundos
//desde el pin de disparo y de inmediato
//se lee el valor recibido en el pin de eco.
//Luego se calcula la distancia en centímetros
//a la que se encuentra el objeto detectado.

digitalWrite(trigPin1, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(trigPin1, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigPin1, LOW);
duracion1 = pulseIn(echoPin1, HIGH);
distancial = (duracion1*.0343)/2;
Serial.println();
Serial.print("Distancia sensor 1: ");
Serial.print(distancial);
Serial.println(" cm.");
```

Figura 30. Segmentos de código relacionados con el sensado de distancia

Fuente: elaboración propia.

5.2.3. Etapa de control

Esta es la más importante del prototipo, pues es en la que se recibe la información proveniente de las etapas de sensado, se lleva a cabo su análisis y con base en los resultados obtenidos se toman las acciones correspondientes. Desde el punto de vista de los componentes del sistema, existe un único elemento en esta etapa, el microcontrolador Arduino Mega 2560, descrito en el marco teórico y que se muestra en la Figura 19. Este se seleccionó para el desarrollo del prototipo debido a los siguientes factores:

- Su costo se ajusta al presupuesto establecido para la construcción del prototipo.
- Cuenta con un total de 54 pines de entrada y salida, de los cuales únicamente 16 se utilizan en el proyecto, lo que deja capacidad de sobra para crecimiento futuro.
- Puede suplir una corriente máxima de 200 mA para todos sus pines, que es más del doble del total requerido por los componentes a utilizar (91.5 mA).
- Funciona en conjunto con el módulo Arduino GSM V2, que se utilizará para la etapa de comunicación. Para el uso de este módulo es necesario proporcionar alimentación externa de entre 700 mA y 1000 mA.

A continuación, se detallan las funciones que desempeña y se muestran segmentos del código que se creó para su programación:

5.2.3.1. Modo de mantenimiento

Como en cualquier local comercial la limpieza de las áreas comunes y, sobre todo, aquellas a las que tienen acceso los clientes, es muy importante para crear una buena imagen. Para limpiar el estante es necesario remover los productos, lo que genera falsas alertas y datos históricos incorrectos.

Con el fin de evitar esta situación se habilitó el modo de mantenimiento, que se activa enviando un mensaje de texto al número asociado con el prototipo y que contenga la palabra desactivar en alguno de los siguientes formatos: Desactivar, desactivar o DESACTIVAR. Al recibir este mensaje el sistema envía una confirmación de que se ha activado el modo mantenimiento mediante un mensaje de texto y su funcionamiento se limita únicamente al procesamiento de mensajes de texto.

De esta manera, se puede remover el producto y manipular el estante sin que se alteren los datos o se generen alertas. Para salir de este modo y regresar a la operación normal, simplemente se debe enviar un nuevo mensaje de texto con alguna de las siguientes variaciones de la palabra activar: Activar, activar, ACTIVAR. Como respuesta el sistema responde con un mensaje en el que confirma que retornó a su funcionamiento normal.

En ambos casos la acción que efectúa el controlador, además de ordenar a la etapa de comunicación el envío de los mensajes de texto de respuesta, es alterar el valor de una variable booleana llamada mantenimiento. Esta se inicializa con un valor falso y cambia de valor, según entran los mensajes de texto, como se observa en el

código mostrado en la Figura 31:

```

if (((strcmp(numeroCel, emisor) == 0)
or (strcmp(numeroCell, emisor) == 0))
and ((mensaje == "Desactivar")
or (mensaje == "desactivar")
or (mensaje == "DESACTIVAR")))
{
    mantenimiento = true;
    Serial.println();
    Serial.println("Modo de mantenimiento activado.");
    String Mantenimiento = "Modo de mantenimiento activado.";
    enviarSMS(Mantenimiento);
}

if (((strcmp(numeroCel, emisor) == 0)
or (strcmp(numeroCell, emisor) == 0))
and ((mensaje == "Activar")
or (mensaje == "activar")
or (mensaje == "ACTIVAR")))
{
    mantenimiento = false;
    Serial.println();
    Serial.println("Modo de mantenimiento desactivado.");
    String Activado = "Modo de mantenimiento desactivado.";
    enviarSMS(Activado);
}

```

Figura 31. Segmentos de código relacionados con el modo mantenimiento

Fuente: elaboración propia.

5.2.3.2. Detección de mensajes entrantes

Uno de los requisitos o características solicitadas por la gerente de la empresa fue que la forma de interactuar con el sistema fuera a través de mensajes de texto que ella pudiera enviar y recibir por medio de su teléfono celular. Para tal fin se creó el módulo de recepción y análisis de mensajes de texto, que es el único que se

mantiene activo incluso cuando el sistema se encuentra en modo de mantenimiento.

Para el funcionamiento adecuado de esta sección del programa y las que componen la etapa de comunicación, es necesario incluir la librería GSM.h e inicializar sus siguientes instancias: GSM gsmAccess y GSM_SMS sms. Además, declarar variables como el número de pin del SIM por utilizar y los números de teléfono de los que se reciben y a los que se les envía los mensajes.

Lo primero que se debe hacer es validar si existe un mensaje entrante. En caso afirmativo se procede a construir el mensaje un carácter a la vez y almacenarlo en una variable tipo *String* llamada mensaje, que se inicializa como una variable vacía para iniciar con un mensaje en limpio. La validación de si hay un mensaje entrante se hace mediante la función sms.available, que retorna un valor verdadero en tal caso.

Al encontrar un nuevo mensaje se captura el número telefónico del que se envió y se almacena en la variable llamada emisor, con el fin de validar si es uno de los terminales autorizados para controlar el sistema y recibir información del mismo. Una vez que se tiene el contenido del mensaje y el número del que proviene, este se borra de la memoria del módem para evitar que se vuelva a procesar en la corrida siguiente como un nuevo mensaje.

El siguiente paso es la validación de los datos almacenados, que es similar para todos los casos. Primero se verifica que el emisor del mensaje sea alguno de los números autorizados para solicitar y recibir información o el número utilizado por el operador para envío de información como el saldo restante o cuando está por

terminarse. Esto se logra al comparar el número del que se recibe el mensaje con los que se han almacenado en las constantes llamadas numeroCel, numeroCel1 y operador.

Los mensajes que se reciben del operador se reenvían a los terminales autorizados, de forma inmediata, sin ningún chequeo adicional. En el caso de los que se reciben desde un terminal autorizado previamente la acción a tomar varía, según su contenido. Existen cuatro acciones posibles para las siguientes palabras, cuando se reciben en los formatos: Palabra, palabra, PALABRA:

- Activar: se cambia el valor de la variable booleana mantenimiento a falso, que hace que el sistema salga del modo de mantenimiento.
- Desactivar: se cambia el valor de la variable booleana mantenimiento a verdadero, activando el modo de mantenimiento.
- Inventario: se contesta el mensaje de texto con uno que indica el número de unidades en existencia.
- Saldo: envía un mensaje de texto al operador con la palabra saldo, lo que causa que el operador responda con un mensaje de texto en el que indica el saldo actual y su fecha de vencimiento. Una vez recibido, el mismo se reenvía a los terminales registrados.

A pesar de que estas acciones parecen sencillas se requiere de una lógica detallada que se debe estructurar, de forma adecuada, para su funcionamiento apropiado. Por ejemplo, si el sistema se encuentra en modo de mantenimiento y

recibe un mensaje en el que se solicita el inventario, se debe contestar con un mensaje que indique que esta función no se encuentra disponible en el estado actual. De manera similar, si se detecta un error en el sensor de peso y se solicita el inventario, el mensaje debe indicar la condición de error y que el dato brindado es proporcionado por el sensor de respaldo. La Figura 32 muestra los segmentos de código relacionados con la recepción de mensajes y las acciones correspondientes:

```
//El primer paso es leer mensajes de texto
//para determinar qué acción se deber realizar

char m; //variable para construir el mensaje de texto
String mensaje = ""; //iniciamos con un mensaje en limpio

if (sms.available())
{
    sms.remoteNumber(emisor,20);
    Serial.println();
    Serial.print("Mensaje de texto recibido de: ");
    Serial.println(emisor);

    //Leer los caracteres del mensaje y se imprimen

    while (m = sms.read())
    {
        mensaje += m;
        // construir el mensaje a partir de la funcion sms.read()
    }

    Serial.println();
    Serial.println(mensaje);
    // desplegar el mensaje en la consola serial
    Serial.println("Fin del mensaje");
```

```

//Se borra el mensaje de la memoria del modem

sms.flush();
Serial.println("Mensaje Borrado.");
delay(1000);

//En esta sección se lleva a cabo el proceso
//correspondiente al mensaje recibido.
//Se valida que el mensaje entrante proviene
//ya sea del emisor o del teléfono celular registrado.

if (((strcmp(numeroCel, emisor) == 0)
or (strcmp(numeroCell, emisor) == 0))
and ((mensaje == "Saldo") or (mensaje == "saldo")
or (mensaje == "SALDO")))
{
    Serial.println();
    Serial.println("Solicitando saldo actual al operador celular.");
    Serial.println("Enviando..."); //prueba para ver si está entrando acá
    sms.beginSMS("606"); //instancia en el numero que se va a mandar el mensaje
    sms.print("SALDO");// instancia para imprimir TXTMSG
    sms.endSMS(); //instancia para enviar mensaje.
    delay(1000); // tiempo necesario para lograr que el mensaje salga.
    sms.flush();
    Serial.println("Enviado!");
}

```

Figura 32. Segmentos de código relacionados con el manejo de mensajes

Fuente: elaboración propia.

5.2.3.3. Lógica de validación de inventario y acciones de control

Hasta ahora se han descrito los procesos de recepción de mensajes y las acciones correspondientes y el de sensado para determinar la cantidad de producto ubicado en el estante. La siguiente etapa es la interpretación de los datos recibidos desde la etapa de sensado y las acciones de control correspondientes. La primera es cuando se da una discrepancia entre los valores reportados por los dos sistemas de sensado, específicamente cuando el sensor de peso reporta cero unidades, pero el de distancia reporta un número mayor o si el sensor de peso reporta un número de unidades mayor a cero, pero el de distancia indica que no hay unidades presentes.

Es importante recordar que el sensor principal es el de peso y los de distancia cumplen una función de respaldo.

Cuando se detecta alguna de estas situaciones se envía un mensaje de texto alertando sobre la misma, en el que se solicita que se revise el sistema y se indica el número de unidades en existencia, según el sensor de respaldo. Es de suma importancia aclarar que, si no se coloca el producto en el orden indicado en la base del estante, el reporte de unidades no será preciso y no se debe confiar en este. Esto se detalla en el manual del usuario.

Para evitar que se envíe un mensaje de texto cada vez que el programa corre, se utiliza una variable booleana llamada `alerta_sensor_peso`, que toma un valor verdadero al darse la condición de error y después de haber enviado el mensaje. En el momento en que la inconsistencia desaparece, se envía un mensaje de texto que notifica el funcionamiento adecuado del sistema y el número de unidades en inventario.

La siguiente acción de control se debe dar cuando la cantidad de inventario es menor que el límite establecido por la administradora. Este valor es una constante llamada `unidades_límite` y su valor es de dos unidades. En el momento en que se detecte un valor igual o menor al límite se envía un mensaje de alerta en el que se indica que la cantidad de producto y la variable booleana llamada `alerta_inventario` toma un valor de verdadero, con el fin de evitar el envío constante de mensajes de texto. Una vez que se detecta un número mayor al límite establecido, se envía un mensaje que indica que el nivel de inventario es adecuado y la cantidad de producto.

Además, se cambia el valor de `alerta_inventario` a falso.

Finalmente, como parte de los requisitos del sistema, se solicitó llevar un historial de las variaciones en el inventario. Para cumplir con este objetivo se utilizan dos variables llamadas `unidades_actual` y `unidades_anterior`, que se inicializan en cero la primera vez que corre el programa. En cada corrida se actualiza el valor de `unidades_actual` y se compara con el de `unidades_anterior`, cuando se detecta una diferencia entre ambas se procede a registrarla en la plataforma *ThingSpeak*, en la que se lleva el control histórico. Tanto el proceso de envío de mensajes de texto como el de actualización de *ThingSpeak*, se detallan en la siguiente sección del documento. La Figura 33 muestra los segmentos de código relacionados con la validación de inventario y las acciones correspondientes.

```
//Esta sección evalúa las condiciones de inventario mínimo
//y envía un SMS de alerta si el mismo se alcanza.
//También envía un SMS de alerta una vez que el inventario
//se encuentra arriba del nivel mínimo.

if ((unidades_actual <= unidades_limite)
and (alerta_inventario == false) and (unidades_actual >= 0)
and (alerta_sensor_peso == false))
{
    Serial.println();
    Serial.print("Hay ");
    Serial.print(unidades_actual);
    Serial.println(" unidades en existencia.");
    String SMS_alerta =
    "Nivel de inventario bajo. Unidades en inventario: "
    + String(unidades_actual);
    enviarSMS (SMS_alerta);
    alerta_inventario = true;
}
else
{
    if ((unidades_actual > unidades_limite)
and (alerta_inventario == true)
and (alerta_sensor_peso == false))
    {
        Serial.println();
    }
}
```

```

    Serial.print("Hay ");
    Serial.print(unidades_actual);
    Serial.println(" unidades en existencia.");
    String SMS_alerta_normal =
    "Nivel de inventario normal. Unidades en inventario: "
    + String(unidades_actual);
    enviarSMS (SMS_alerta_normal);
    alerta_inventario = false;
  }
}

//Esta sección detecta variaciones en el inventario
//y actualiza Thingspeak para reflejarlas.

if ((unidades_actual != unidades_anterior)
and (unidades_actual >= 0)
and (alerta_sensor_peso == false))
{
  String StringToThingSpeak = "field1=" + String(unidades_actual);
  if (client.available())
  {
    Serial.println();
    char c = client.read();
    Serial.print(c);
  }

//Actualizar ThingSpeak.
  if(!client.connected()
  && (millis() - lastConnectionTime > updateThingSpeakInterval))
  {
    Serial.println();
    Serial.print("Unidades en inventario: ");
    Serial.println(unidades_actual);
    updateThingSpeak(StringToThingSpeak);
    unidades_anterior = unidades_actual;
  }
}

```

Figura 33. Segmentos de código relacionados con el control de inventario

Fuente: elaboración propia.

5.2.4.1. Comunicación vía SMS

Este es el método principal de comunicación y control del prototipo implementado. El sistema, mediante el módulo de comunicación, tiene la capacidad de recibir mensajes de texto que se utilizan para diferentes fines, como solicitud de información, recepción de alertas y envío de comandos de control. Como se explicó en la Sección 5.2.3.2 existe una serie de palabras programadas en el sistema para ejecutar ciertas funciones. Dos de estas se utilizan para la solicitud de información, *inventario* para conocer la cantidad de unidades ubicadas en el estante y *saldo* para conocer el saldo actual del servicio prepago utilizado. Las otras dos son palabras de control, *desactivar* para pasar el sistema a modo mantenimiento y *activar* para que el mismo opere, de forma normal.

Adicionalmente, existen condiciones en las que el sistema envía información de forma automática, sin necesidad de que el usuario la solicite. El primer caso se presenta cuando se alcanza el límite de unidades definido por la administradora para saber cuándo es necesario ordenar producto, que en este caso es de dos unidades. El mensaje indica la condición de alerta y la cantidad de botellas en el estante. En el momento en que se sobrepase el límite se envía otro mensaje en el que se detalla que la alerta se limpió y la cantidad de unidades en existencia.

La otra condición que genera alertas es cuando se detecta una discrepancia entre los datos del sensor principal y el secundario, específicamente cuando el principal indica que no hay unidades y el secundario detecta un número superior o cero o cuando el primario indica que hay producto presente, pero el secundario no

detecta ninguno. En este caso el mensaje enviado detalla que hay un error en el sensor principal que requiere que se revise el sistema.

El envío y recepción de mensajes requiere el uso de la librería GSM_SMS y variables y constantes asociadas como los números de teléfono con los que se intercambia información, datos del operador celular, los mensajes predeterminados que se envían, según la acción, entre otros. Se creó una función específica para el envío de los mensajes de texto que se llama cada vez que se requiere. De esta manera, el código luce más limpio y se optimiza el uso de la memoria del microcontrolador. Adicionalmente y como medida de seguridad se solo envía información a los números de teléfono programados. El código de esta función relacionado con el envío de mensajes de texto se presenta en la Figura 35:

```
void enviarSMS (String txtMsg)
{
  Serial.println();
  Serial.println("Enviando..."); //prueba para ver si está entrando acá.
  sms.beginSMS(numeroCel); //instancia en el numero que se va a mandar el mensaje.
  sms.print(txtMsg); // instancia para imprimir TXTMSG.
  sms.endSMS(); //instancia para enviar mensaje.
  delay(1000); // tiempo necesario para lograr que el mensaje salga.
  sms.flush();
  sms.beginSMS(numeroCell); //instancia en el numero que se va a mandar el mensaje.
  sms.print(txtMsg); // instancia para imprimir TXTMSG.
  sms.endSMS(); //instancia para enviar mensaje.
  delay(1000); // tiempo necesario para lograr que el mensaje salga.
  sms.flush();
  Serial.println("Enviado!");
}
```

Figura 35. Código Relacionado con el envío de mensajes de texto

Fuente: elaboración propia.

5.2.4.2. Comunicación con plataforma IoT

Hasta este punto se ha descrito cómo el sistema ayuda con el control de inventario,

pero saber cuándo ordenar producto para evitar el desabastecimiento es solamente una parte del proceso. Además, es necesario conocer los históricos de consumo e identificar patrones de temporada para anticipar, de forma adecuada, las fluctuaciones en demanda.

La plataforma *ThingSpeak* brinda una solución para almacenar información histórica, sin costo y con la posibilidad de incluir hasta tres canales adicionales en caso de que se desee controlar el inventario de otros productos en el futuro. Para establecer la comunicación entre el sistema y la plataforma se recurre nuevamente a la librería GSM, en específico, a las clases *GSMClient* y *GPRS*, que habilitan la conexión del módem en el módulo GSM a la red celular y enviar los datos.

Es necesario definir parámetros de acceso a la red celular como el nombre del APN, el nombre de usuario, la contraseña y los datos específicos del canal de *ThingSpeak*, como la dirección *web*, la llave de escritura y variables para el control de tiempos de conexión y actualización del canal. De esta manera, cada vez que se detecta una variación en la cantidad de unidades en el estante, se establece una conexión a Internet mediante el protocolo GPRS y se actualiza el canal de *ThingSpeak*.

Igual que para el envío de mensajes de texto, en este caso se creó una función llamada `updateThingSpeak` que se invoca únicamente cuando es necesario, lo que mantiene el orden del código y optimiza el uso de la memoria del microcontrolador. El código relacionado con el envío de información a la página *web* se muestra en la Figura 36:

```
void updateThingSpeak(String tsData)
{
    if (client.connect(thingSpeakAddress, 80))
    {
        client.print("POST /update HTTP/1.1\n");
        client.print("Host: api.thingspeak.com\n");
        client.print("Connection: close\n");
        client.print("X-THINGSPEAKAPIKEY: "+writeAPIKey+"\n");
        client.print("Content-Type: application/x-www-form-urlencoded\n");
        client.print("Content-Length: ");
        client.print(tsData.length());
        client.print("\n\n");
        client.print(tsData);
        lastConnectionTime = millis();
        if (client.connected())
        {
            Serial.println();
            Serial.println("Actualizando ThingSpeak...");
            failedCounter = 0;
        }
    }
    else
    {
        failedCounter++;
        Serial.println();
        Serial.println("La conexión a ThingSpeak falló (" +String(failedCounter, DEC)+")");
    }
}
```

```
    }  
  
    client.stop();  
    //Si no se detiene el cliente acá el cliente se queda conectado  
    //a Thingspeak de forma continua y no vuelve a evaluar los  
    //valores de inventario.  
    delay(30000);  
    //El retraso es meramente estético para no ver valores mientras  
    //se actualiza la página y se detiene el cliente.  
  }  
  else  
  {  
    failedCounter++;  
    Serial.println();  
    Serial.println("La conexión a ThingSpeak falló  
    (" + String(failedCounter, DEC) + ")]");  
    lastConnectionTime = millis();  
  }  
}
```

Figura 36. Código relacionado con el envío de datos a ThingSpeak

Fuente: elaboración propia.

5.3. IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO

Con todos los elementos requeridos para la puesta en marcha de la solución se procedió al ensamblaje del prototipo, la programación del microcontrolador, las pruebas de campo y, por último, la entrega del estante. La primera etapa se centró en la construcción del estante, según el diseño descrito en la Sección 5.2.1. La Figura 37 y la Figura 38 muestran el estante y la base respectivamente:



Figura 37. Estante

Fuente: elaboración propia.



Figura 38. Base del estante

Fuente: elaboración propia.

El siguiente paso fue la fabricación de los cables necesarios para conectar los diferentes sensores al microcontrolador y una tarjeta de interconexión para ordenar los conectores e identificarlos para facilitar, tanto el proceso de ensamblaje como la detección y solución de fallas. Se definió con un código de colores que se muestra en la Tabla 12 y los cables resultantes se pueden observar en la Figura 39:

Tabla 12. Código de colores del cableado

<u>Color del cable</u>	<u>Función</u>
Rojo	Vcc – 5 V
Negro	Referencia-GND
Amarillo	Pin de ECHO en el sensor

<u>Color del cable</u>	<u>Función</u>
Blanco	Pin de TRIG en el sensor
Azul	Pin de ECHO en el Arduino Mega
Verde	Pin de TRIG en el Arduino Mega
Violeta	Pin de DAT en el HX-711
Naranja	Pin de CLK en el HX-711

Fuente: elaboración propia.

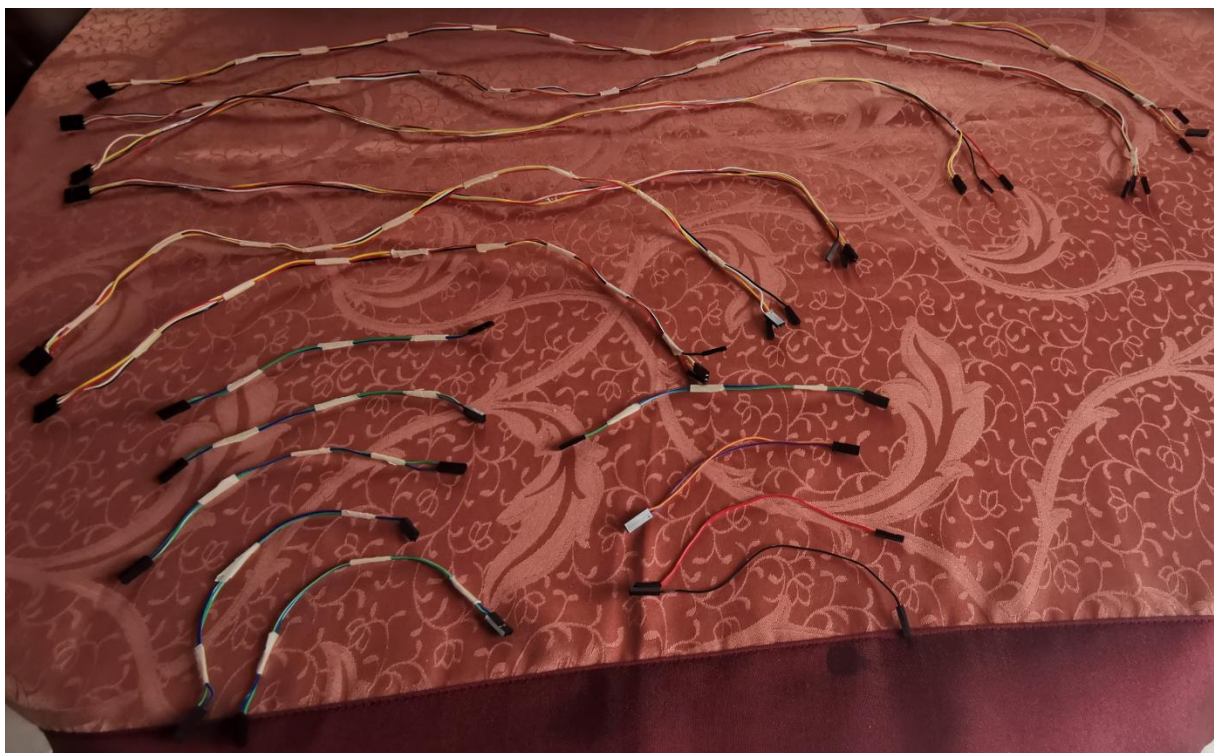


Figura 39. Cables para las conexiones de sensores y microcontrolador

Fuente: elaboración propia.

Cada uno de los cables se construyó a la medida, los conectores tienen un punto de soldadura con estaño para asegurar conectividad adecuada y con conectores plásticos para simplemente insertarlos en los pines correspondientes. En la tarjeta de interconexiones se soldaron pines del color correspondiente a cada cable, para, una vez más, solo tener que conectarlos. Una vez que se colocaron los

cables, estos se introdujeron en un forro plástico de color negro para evitar que queden al descubierto y darles un mejor aspecto. Adicionalmente, se instalaron ganchos plásticos transparentes en los costados internos del estante en los que se instalan los sensores, para mantener los cables sujetos y ordenados. El resultado se muestra en la Figura 40:

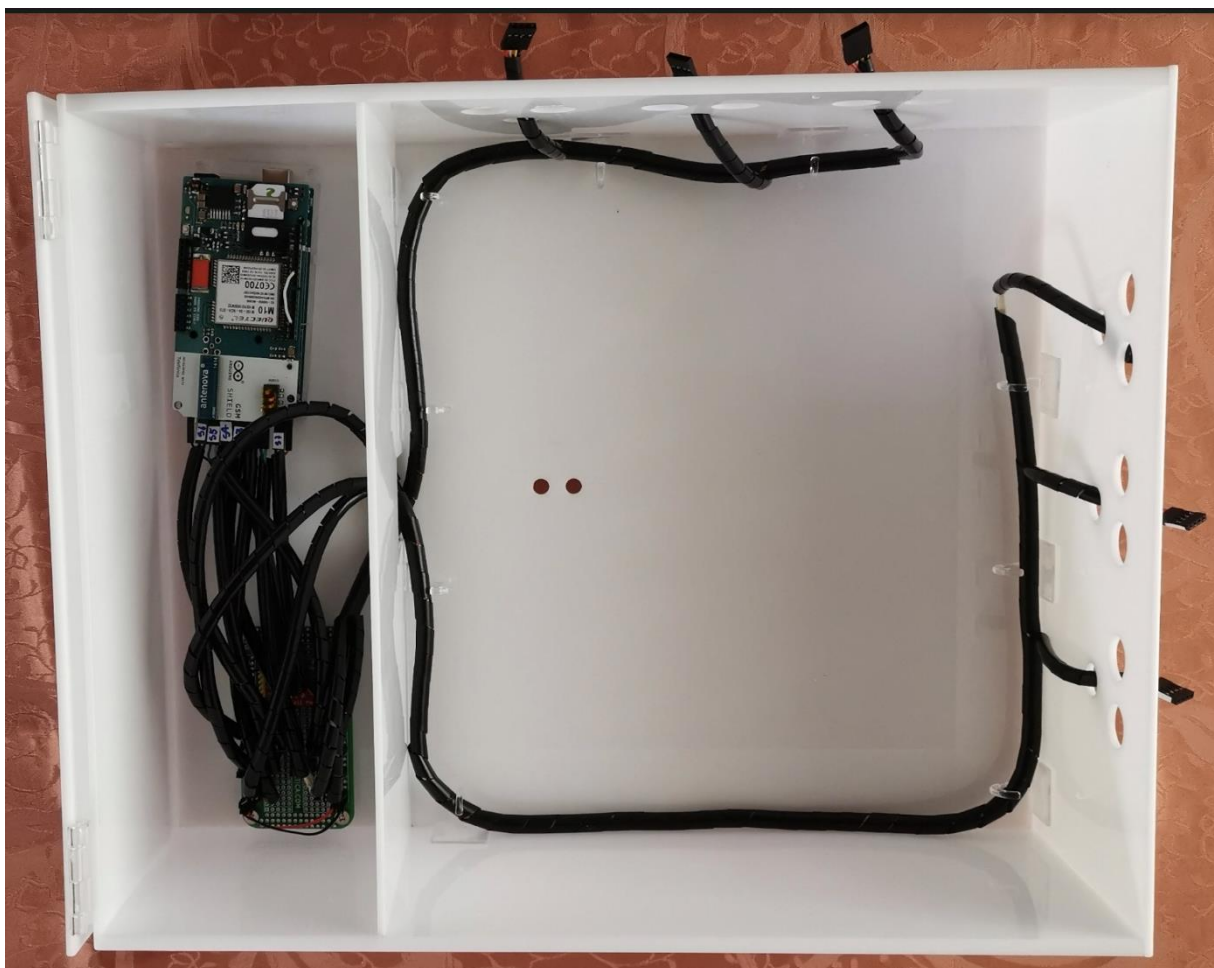


Figura 40. Cableado interno del estante

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se procedió a instalar la base del estante y los sensores de distancia. Todos los conectores se etiquetaron con un número de sensor que va desde S1 hasta S7. El resultado final de la instalación del estante se muestra en la

Figura 41, que se tomó en el centro de bronceado:



Figura 41. Estante instalado en el Centro de Bronceado 2Fancy

Fuente: elaboración propia.

5.3.1. Etapa de pruebas

Una vez que el diseño y el código estuvieron listos se procedió a llevar a cabo una serie de pruebas para validar el funcionamiento adecuado del sistema y proceder con la construcción del prototipo. Para esto, se utilizaron productos alternativos de menor peso y una maqueta construida con madera, pero de dimensiones menores. Durante este proceso se encontraron y corrigieron problemas menores, algunos de estos se describen a continuación.

- Envío continuo de mensajes de alertas: se presentó durante el envío de alertas vía mensajes de texto. En lugar de enviar un único mensaje el mismo se recibía de forma continua, debido a que el valor asignado a la variable de control no era la correcta.

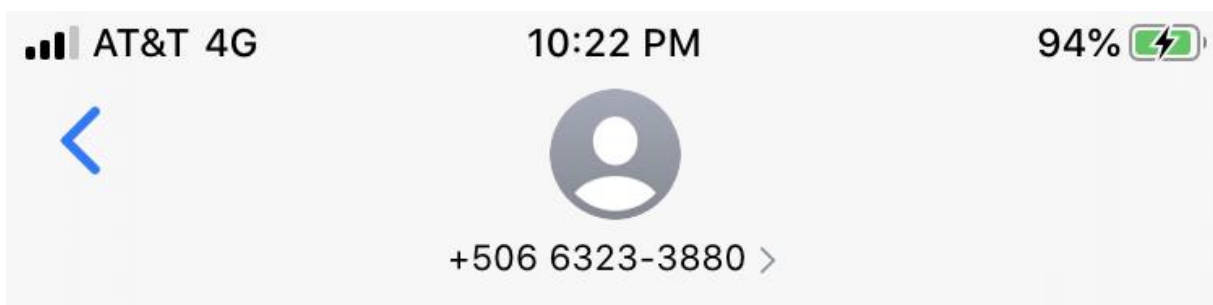
- Validación del número del emisor: al comparar el número desde el que se recibía el mensaje de texto con los programados como autorizados a utilizar el sistema no se tomaba como válido a pesar de ser el mismo número. Esta situación se produjo debido a que el número recibido del operador posiblemente contenía espacios en blanco. Para solucionar el problema se utilizó una función que elimina estos espacios.
- Fallo del amplificador y convertidor analógico/digital: el día en que se iba a instalar el sistema, a pesar de funcionar sin problemas en pruebas anteriores, el amplificador y convertidor analógico/digital HX-711 dejó de funcionar. Este se tuvo que reemplazar por otro del mismo modelo, pero diferente fabricante.
- Reporte de niveles de inventario negativos: durante las etapas de prueba con la maqueta nunca se observó este comportamiento. Una vez que se instaló el prototipo en el centro de bronceado y se puso en funcionamiento hubo reportes de valores negativos, que no tenían sentido debido a que siempre hubo unidades en el estante. Al revisar el cableado y la tarjeta de conexiones se encontró que uno de los pines que conecta el amplificador HX-711 presentaba un falso contacto y después de aplicar soldadura adicional el problema desapareció.

Los últimos dos incidentes se presentaron después de la etapa de pruebas iniciales, ambos relacionados con fallas de componentes y una vez que se solucionaron, el día 14 de agosto del 2019, el sistema ha trabajado de la forma

esperada por 17 días continuos a la fecha de entrega de este documento.

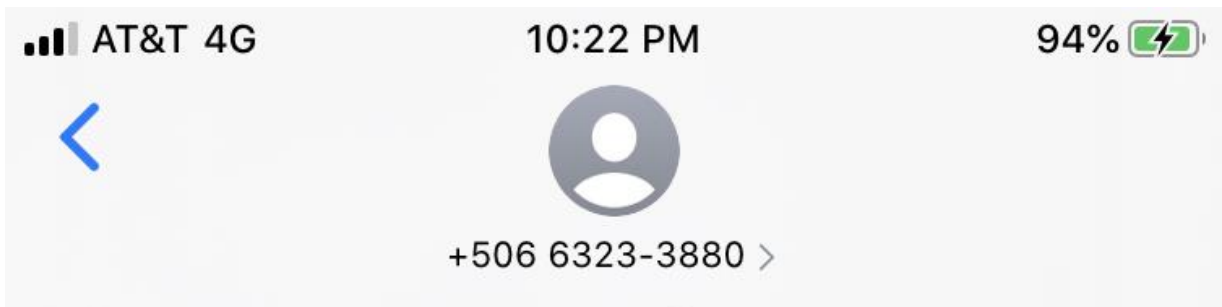
5.3.2. Pantallas

Durante el proceso de pruebas y desde su puesta en marcha se han capturado imágenes que muestran el funcionamiento del proyecto. Algunas se presentan, a continuación, para brindar una idea clara de los mensajes de alertas y respuestas del sistema y el almacenamiento de datos históricos en la plataforma *ThingSpeak*. La Figura 42 muestra los mensajes de texto del sistema en este orden: el sistema está listo para funcionar, alerta de inventario bajo, nivel de inventario normal, alerta de error del sensor de peso. Además del que informa que el sensor de peso funciona de forma adecuada, respuesta a la solicitud del inventario actual, sistema en modo de mantenimiento, sistema en modo normal y respuesta a solicitud de saldo:

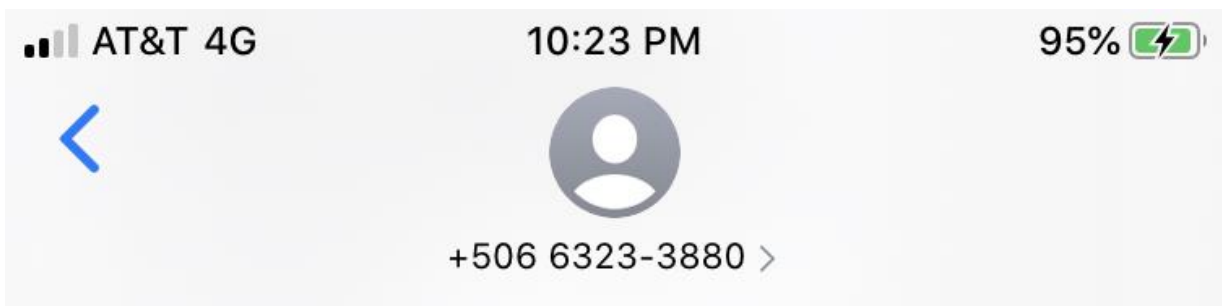


Text Message
Saturday 2:44 PM

Estante inteligente listo.



Nivel de inventario bajo.
Unidades en inventario: 0



Nivel de inventario normal.
Unidades en inventario: 4

AT&T 4G 10:23 PM 95%

+506 6323-3880 >

Error de sensor de peso.
Unidades en inventario segun
sensor de respaldo: 1

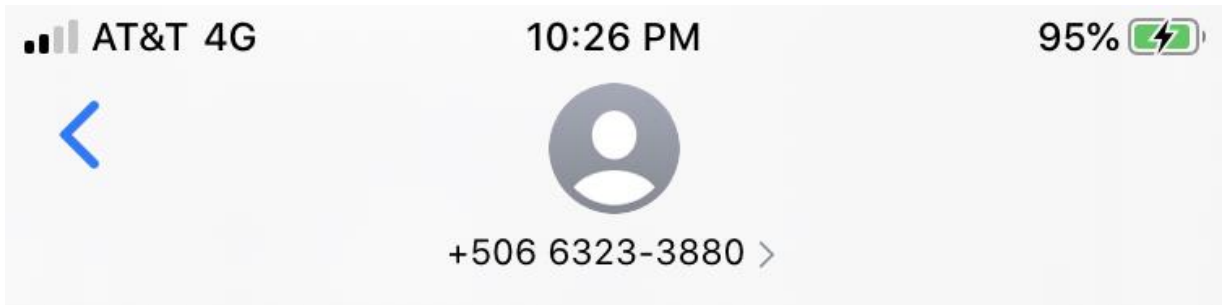
Discrepancia en conteo de
unidades resuelta. Sensor de
peso funcional. Unidades en
inventario: 4

AT&T 4G 10:23 PM 95%

+506 6323-3880 >

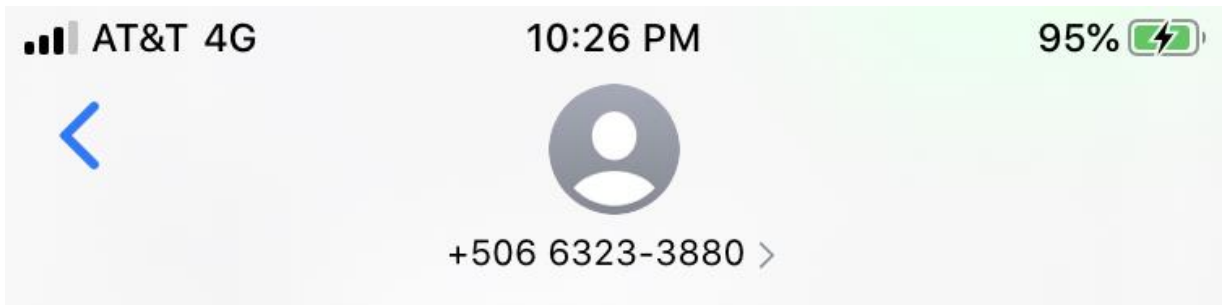
Inventario

Unidades en inventario: 4



Desactivar

Modo de mantenimiento activado.



Activar

Modo de mantenimiento desactivado.



Figura 42. Mensajes de texto del sistema

Fuente: elaboración propia.

Por último, se muestra un ejemplo de las variaciones de inventario registradas en ThingSpeak en la Figura 43. La Figura 44 muestra los mismos datos del gráfico exportados a Microsoft Excel para simplificar su análisis.



Figura 43. Visualización de histórico de inventario en ThingSpeak

Fuente: elaboración propia.

Fecha y hora	Unidades en inventario
11/16/19 13:25	4
11/16/19 13:28	3
11/16/19 13:31	2
11/16/19 13:31	3
11/16/19 13:35	4
11/16/19 13:47	4
11/16/19 13:48	3
11/16/19 13:49	2
11/16/19 13:50	4
11/16/19 13:58	3
11/16/19 13:59	1
11/16/19 14:01	0
11/16/19 14:05	4
11/16/19 21:13	7
11/19/19 20:37	6

Figura 44. Histórico de inventario exportado a Microsoft Excel

Fuente: elaboración propia.

5.4. ANÁLISIS DE COSTOS

Una vez finalizada el diseño e implementación del prototipo es importante evaluar la viabilidad económica. La Tabla 13 muestra el detalle del costo de los elementos utilizados en la construcción del estante:

Tabla 13. Costo de los componentes del estante

<u>Artículo</u>	<u>Precio unitario</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Precio Total</u>
Arduino Mega 2560	\$30	1	\$30
Módulo GSM V2	\$150	1	\$150
Celda de carga TAL220	\$14	1	\$14
Amplificador HX-711	\$10	1	\$10
Sensor HC-SR04	\$2	6	\$12
Tarjeta de conexiones	\$6	1	\$6
Cables y conectores	\$15	1	\$15
Estante acrílico	\$100	1	\$100
Ganchos plásticos	\$2	1	\$2
Organizador de cable	\$5	1	\$5
SIM Movistar y recarga	\$10	1	\$10
Total			\$354

Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente, se deben incluir los costos relacionados con el diseño, construcción e implementación del prototipo. Para este cálculo se toma como base el salario mínimo para un bachiller universitario establecido por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, que se publicó en La Gaceta N° 228 del mes de diciembre de 2017. La etapa de diseño contempla el levantamiento de los

requisitos, investigación de tecnologías disponibles y la selección de los componentes a utilizar. En el proceso constructivo solo se incluye la generación del código y la programación del microcontrolador, ya que el estante se fabricó contra pedido y su costo se incluye en la Tabla 13. Por último, la implementación se refiere a las pruebas de campo hechas durante la puesta en marcha y entrega del producto, como se detalla en la Tabla 14:

Tabla 14. *Costos de diseño, construcción e implementación*

<u>Actividad</u>	<u>Costo por hora</u>	<u>Horas</u>	<u>Costo total</u>
Diseño	₡3100	28	₡86800
Construcción	₡3100	14	₡43400
Implementación	₡3100	4	₡12400
Total			₡142600

Fuente: elaboración propia.

Una vez determinados los costos relacionados con los materiales y el diseño y construcción del prototipo, se procede a calcular el costo total del proyecto adicionando un rubro por concepto de ganancia. Este corresponde a un 25 % de la suma de los montos calculados, para una inversión total de 437112.5 colones, como se muestra en la Tabla 15:

Tabla 15. *Costo total del proyecto*

<u>Descripción</u>	<u>Costo</u>
Materiales	₡207090
Diseño, construcción e implementación	₡142600
Ganancia (25 %)	₡87422.5

<u>Descripción</u>	<u>Costo</u>
Total	¢437112.5

Fuente: elaboración propia.

Si se considera que por cada botella de champú solicitada por un cliente y que no se tenga en inventario se debe llevar a cabo una inversión adicional de 8400 colones al adquirirlo en otro establecimiento y que, además, de deja de percibir un ingreso por el mismo monto, por cada unidad que no se tenga en inventario, se estaría incurriendo en un gasto de 16800 colones. Por ende, el costo del prototipo se recuperaría por completo después de tener que comprar 26 botellas de champú, que, según el histórico de órdenes al proveedor se alcanzaría en 9 semanas.

Además, existe un costo adicional que no es posible cuantificar en términos de pérdidas y ganancias monetarias y se trata de la pérdida de clientela y daño a la imagen de la empresa. Según los datos obtenidos en las encuestas aplicadas a las usuarias actuales, potencialmente se podría perder un 90 % de la clientela actual y un 100 % de sus posibles recomendaciones a otras personas. De esta manera, se evidencia que desde el punto de vista económico la inversión requerida para implementar el proyecto se recuperaría en menos de 3 meses. Asimismo, se reduce el riesgo del daño a la imagen de la empresa y la potencial pérdida de clientela y se elimina la necesidad de que la propietaria se tenga que quedar después de que se cierre el centro de bronceado para validar el inventario.

5.5. ACEPTACIÓN DEL PROYECTO

La implementación del prototipo se llevó a cabo, de manera exitosa, en el centro de bronceado, como se puede observar en la Figura 41. Su funcionamiento se validó por medio de pruebas y demostraciones a dos miembros del personal, en las que se verificó que cada uno de los requisitos solicitados se cumpliera satisfactoriamente. La Tabla 16 muestra un resumen de estos requisitos y en cuál sección del capítulo se desarrolló:

Tabla 16. *Resumen de cumplimiento de requisitos*

<u>Requisito</u>	<u>Alcanzado</u>
Permitir comunicación vía mensajes de texto	5.2.4.1 y 5.3.2
No depender del servicio de Internet del local	5.2.4
Alertar cuando se alcanza el nivel de producto mínimo establecido	5.2.3.3 y 5.3.2
Permitir la validación remota de inventario	5.2.3.2 y 5.3.2
Contar con una manera alternativa de control en caso de falla del mecanismo primario	5.2.2 y 5.3.2
Proveer un historial de movimiento del producto	5.2.4.2 y 5.3.2
Brindar un modo de mantenimiento para evitar el ingreso de datos falsos durante la limpieza del estante	5.2.3.1 y 5.3.2
Posibilidad de incluir otros productos en el futuro	5.2.3
Restricción del dispositivo desde el que se hacen las consultas	5.2.3.2
Envío de alertas a varios dispositivos	5.2.3.2 y 5.2.4.1

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Como se evidenció en los capítulos anteriores, para finalizar de forma satisfactoria el desarrollo de un prototipo de estante electrónico para la automatización del control de inventario de materia prima crítica en la pyme centro de bronceado 2Fancy, fue necesario completar una amplia variedad de pasos. Estos implicaron desde el entendimiento de la problemática y levantamiento de requisitos, hasta la implementación del prototipo en el sitio.

En cada una de estas etapas se adquirió nuevo conocimiento o se amplió el que se tenía, acerca de elementos que en algunos casos tienen relación directa con la carrera de Ingeniería Electrónica, pero en otros se trató de un ámbito completamente ajeno. Esta dinámica permitió llegar a las siguientes conclusiones:

- Se determinó que existen empresas en el ámbito nacional que pueden beneficiarse, de forma directa, con la automatización de procesos y la introducción de elementos electrónicos. En este caso en particular se trató de un centro de bronceado y belleza, empresa pyme que, a pesar de su tamaño, presentaba retos importantes en el proceso de manejo de inventario. No solamente las compañías transnacionales o con una gran cantidad de empleados o alta complejidad de procesos se benefician con la introducción de tecnología.
- Mediante técnicas de observación y recolección de datos se logró comprender el proceso de manejo de inventario en el Centro de Bronceado 2Fancy y puntualizar los retos y riesgos que presentaba al efectuarse de

forma manual, como el error al anotar los datos, la falta de un registro formal y la imposibilidad de validarlo de manera remota.

- Con base en la observación del proceso y entrevistas, se definieron, de forma clara y concisa, las funciones del prototipo a implantar para subsanar los problemas actuales del proceso de manejo de inventario de materia prima crítica, como la validación remota de inventario, el envío de alertas de nivel mínimo de inventario y activación/desactivación del modo de mantenimiento mediante mensajes de texto.
- Gracias al estudio de las diferentes tecnologías disponibles en el mercado se identificó, como solución óptima para el problema planteado, el uso de un microcontrolador capaz de comunicarse con sensores que determinen el número de unidades en inventario y con un módulo de comunicación que permita el intercambio de comandos e información vía mensajes de texto.
- Se seleccionó al Arduino Mega 2560, la celda de carga TAL220 junto al amplificador HX-177 y los sensores ultrasónicos de distancia HCSR04 como los componentes electrónicos que se ajustaron a las condiciones del entorno y cumplieron, de forma satisfactoria, los requisitos técnicos, funcionales y de presupuesto.
- Se diseñó un sistema electrónico con base en los componentes seleccionados, con la lógica de programación necesaria para que este cumpla con los requisitos establecidos para la automatización del control del inventario de materia prima crítica, como la validación remota, la

creación de un historial de consumo, alertas de falla de sensado y nivel bajo de unidades y activación/desactivación del modo de mantenimiento.

- Se construyó un prototipo del estante electrónico en acrílico blanco para que su aspecto no impacte la estética del establecimiento, con una bandeja flotante en la que se pueden colocar hasta 9 botellas de champú y que, a la vez, se monta sobre el sensor de peso, con orificios para la instalación y el cableado de los sensores de distancia y un compartimento para ubicar el controlador y la placa de interconexión.
- Mediante la aplicación de una serie de pruebas de campo diseñadas para la validación de las funciones de control de inventario solicitadas, se comprobó que el prototipo implementado en el centro de bronceado es capaz de: determinar el número de botellas sobre el estante, registrar variaciones de inventario, alertar mediante mensajes de texto cuando se alcanza el número mínimo de unidades o cuando se da una falla del sistema primario de sensado y, de forma remota, validar el número de unidades en existencia.
- Adicionalmente, se implementó una característica que, a pesar de que no se solicitó como parte de los requisitos de funcionamiento, se consideró adecuada para que el prototipo funcionara de forma adecuada. Esta consiste en la posibilidad de consultar el saldo del SIM telefónico y el reenvío de mensajes enviados por el operador a los teléfonos definidos como autorizados, con el fin de evitar que la etapa de comunicación falle

debido a un faltante de saldo.

- Se comprobó, mediante un análisis financiero, que el costo de la implementación del prototipo se pueda recuperar, de forma completa, en un periodo de nueve semanas y que la compra de cada champú a un tercero en lugar del distribuidor representa una pérdida monetaria de 16 800 colones y se venden en promedio tres unidades por semana. Por lo anterior, después de comprar 27 unidades a un tercero se habrá perdido un total de 453 600 colones, suma que supera el costo del prototipo.

Los elementos mencionados y el impacto positivo que se espera en la disminución de los potenciales riesgos de daño de la imagen de la empresa y la satisfacción al cliente debido al manejo inadecuado del inventario, permitió concluir que el proyecto es viable. Esto desde el punto de vista de funcionamiento y de economía, por ende, se logró la aceptación y puesta en marcha del mismo en el centro de bronceado 2Fancy.

6.2. RECOMENDACIONES

El alcance del proyecto se definió para una única línea de productos considerados críticos para el funcionamiento del centro de bronceado 2Fancy, debido a su costo y disponibilidad. Además, por ser la primera vez que se introdujo tecnología electrónica para procesos del negocio se definió un presupuesto alineado al cumplimiento básico de los objetivos, sin convertirse en una carga económica.

Debido a estas limitantes se dejaron de lado ciertas condiciones que se considera podrían mejorar o facilitar el funcionamiento y uso del sistema. Por lo tanto, se recomienda que se evalúen para la implementación futura no de un prototipo, como en este caso, sino de un sistema formal de control de inventario para los diferentes productos del centro de bronceado.

- Para evitar que el módulo de comunicación deje de funcionar debido a que el saldo del SIM telefónico prepago se quede sin saldo, se recomienda el uso de uno que opere en el modelo postpago, con el plan más básico. Esto se debe a que el movimiento del inventario no requiere de envío de gran cantidad de información a la plataforma de históricos, el envío de alertas no es frecuente y la validación del inventario, de forma remota, requiere de un único mensaje de texto.
- Para disminuir la dependencia del SIM telefónico al mínimo se recomienda la adición de un módulo de red inalámbrica a la etapa de comunicación para actualizar el historial de datos de consumo en la plataforma *ThingSpeak*, pues ya existe una red de este tipo en el negocio. En caso de

falle se puede continuar usando el módulo GSM como mecanismo de respaldo.

- Para eliminar por completo el uso del SIM como mecanismo primario de comunicación y se convierta en uno de respaldo usado únicamente en caso de falla del primario, se recomienda el desarrollo de una aplicación para teléfono móvil que no utilice los mensajes de texto como forma principal de alerta y control, sino el protocolo TCP/IP para este fin.
- Además, en el espacio de sistemas de respaldo, para que los sensores ultrasónicos de distancia sean capaces de determinar el número exacto de unidades situadas en el estante, se requeriría instalar uno por cada unidad o se debe seguir un orden específico al colocarlas y removerlas con la cantidad actual. Por este motivo, se propone el uso de únicamente un sensor por fila en lugar de uno por fila y uno por columna.
- En el prototipo para incluir un nuevo número autorizado para el control del sistema y la recepción de alertas, es necesario el uso de una computadora y el programa IDE de Arduino. Por medio de la adición de un teclado y una pantalla podría ejecutarse esta función, de forma directa, en el sistema. Otra opción sería desarrollar el código para un modo de configuración que permita, mediante el uso de mensajes de texto, esta funcionalidad.
- Desde el punto de vista cosmético, a pesar de que el área donde está instalado el prototipo está fuera del alcance de la clientela, si se deseara ubicar en el área de atención se recomienda colocar cobertores, ya sea

construidos en acrílico o impresos con una impresora 3D en color blanco, sobre los sensores de distancia que en el prototipo quedaron descubiertos.

BIBLIOGRAFÍA

Arduino. (s. f.). Arduino Mega 2560 REV3. Recuperado:

<https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>

Arduino. (s. f.). Getting started with the Arduino GSM Shield 2. Recuperado de:

<https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoGSMShieldV2>

Borda Pérez, M. (2013). El proceso de investigación: visión general de su desarrollo.

Barranquilla, Colombia: Universidad del Norte.

Cruz, A. (2017). Gestión de inventarios. Málaga: IC Editorial.

Hernández Sampieri, R.; Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2014).

Metodología de la investigación. 6.a ed. México D. F.: McGraw Hill.

Nilsson, J. y Riedel, S. (2008). Electric Circuits. Estados Unidos: Prentice Hall.

Opensource. (s. f.). What is a Raspberry Pi? Recuperado de:

<https://opensource.com/resources/raspberry-pi>

Pallás, R. (1993). Adquisición y distribución de señales. España: Marcombo.

Pymes Costa Rica. (s. f.). Conozca el tamaño de su empresa. Recuperado de:

<https://www.pyme.go.cr/cuadro5.php?id=1>

Shopify. (s. f.). Marketing boca a boca. Recuperado de:

<https://es.shopify.com/enciclopedia/marketing-boca-a-boca>

Sparkfun. (s. f.). Load Cell – 10 kg, Straight Bar (TAL220). Recuperado de:

<https://www.sparkfun.com/products/13329>

Sparkfun. (s. f.). SparkFun Load Cell Amplifier-HX711. Recuperado de:

https://www.sparkfun.com/products/13879?_ga=2.72686225.305653411.1558897235-395080946.1533344962

Sparkfun. (s. f.). Ultrasonic Distance Sensor-HC-SR04. Recuperado de:

<https://www.sparkfun.com/products/15569>

Valdés, F y Pallás, R. (2007). Microcontroladores Fundamentos y Aplicaciones con PIC. España: Marcombo

ANEXOS

Lista de anexos.

En el folder principal en el que se encuentra este documento existe otro llamado Anexos, que contiene los elementos de apoyo utilizados en el desarrollo del proyecto y que se listan, a continuación:

1. Hoja de datos TAL220M4M5.
2. Hoja de datos HX711.
3. Hoja de datos HCSR04.
4. Encuesta de opinión para clientes.
5. Resultados de encuesta a clientes.
6. Peso de botellas de champú.
7. Lógica de ubicación.
8. Código Arduino.