



# Control Automático de temperatura en Cadena de Frío mediante tecnología RFID

**José Vázquez Mouzo**

Master Universitario de Ingeniería de Telecomunicación  
Sistemas de Comunicación

**Raúl Parada Medina**

**Carlos Monzo Sánchez**

9/01/2017



Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada [3.0 España de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)

## FICHA DEL TRABAJO FINAL

<b>Título del trabajo:</b>	<i>Control Automático de temperatura en cadena de Frío mediante tecnología RFID</i>
<b>Nombre del autor:</b>	<i>José Vázquez Mouzo</i>
<b>Nombre del consultor/a:</b>	<i>Raúl Parada Medina</i>
<b>Nombre del PRA:</b>	<i>Carlos Monzo Sánchez</i>
<b>Fecha de entrega (mm/aaaa):</b>	01/2017
<b>Titulación:</b>	<i>Master de Ingeniería de Telecomunicación (UOC)</i>
<b>Área del Trabajo Final:</b>	<i>Sistemas de Comunicación</i>
<b>Idioma del trabajo:</b>	<i>Castellano</i>
<b>Palabras clave</b>	<i>RFID, Cadena de Frío, Control de temperatura, Refrigeración, Congelación, Comunicaciones inalámbricas.</i>

**Resumen del Trabajo (máximo 250 palabras):** *Con la finalidad, contexto de aplicación, metodología, resultados i conclusiones del trabajo.*

El procesamiento y distribución de alimentos es una parte fundamental de la sociedad actual, para que los productos lleguen en las mejores condiciones a la mesa de los consumidores, se emplean gran cantidad de recursos, escasos y caros, energía, tierra de cultivo, agua dulce, etc. Sin embargo, no existe un aprovechamiento total de ellos, debido a que en los distintos niveles de la cadena (recolección o procesado, almacenamiento, empaquetado, distribución, venta, o consumidor) se van produciendo continuas pérdidas, estimadas aproximadamente en casi un 35% del total producido. Hay muchos, y diversos factores que provocan esas pérdidas, y uno de ellos, es el no mantener las condiciones correctas del producto en la cadena de frío.

Para mitigar y reducir al mínimo estas pérdidas en los alimentos, es necesario un estricto control de la temperatura del producto, no solo es interesante la monitorización y seguimiento del mismo, sino que este como parte fundamental de la cadena, debe controlar los elementos de la producción de frío, priorizando sus necesidades y su conservación, por encima de un funcionamiento ya preestablecido.

Con este proyecto se pretende dar solución al posible desajuste de condiciones en la cadena de suministros, diseñando y creando un sistema de comunicación, monitorización y control de temperatura mediante etiquetas RFID con sensor incorporado. Estas estarán situadas a corta distancia o en permanente contacto con el producto, de forma que puedan transmitir con el

productor y distribuidor de frío, indicándole y estableciendo cuales son sus necesidades ambientales, para que estas sean uniformes y acordes a sus características.

**Abstract :**

Processing and distribution of food is a fundamental part of modern society, so that the products arrive in the best conditions to consumers' tables, many resources scarce and expensive are used, energy, farmland, fresh water, etc. However, these resources are not used in full, because at different levels of the Cold chain (harvesting or processing, storage, packaging, distribution, sale, or consumer) will produce continuous losses, estimated at almost 35% approximately of the total produced. There are many different factors that cause these losses, and one of them is not to keep the product under the right conditions in the Cold Chain.

In all perishable food it is very important to a thorough environmental control (temperature, humidity, lighting, vibration), for the purposes of maintain their freshness for as long as possible. Of all parameters, the most important is the temperature. With the use of refrigeration, it is possible alterations delay or reduce food spoilage. It is therefore very important to detect and remedy the potential imbalances that may occur in the Cold Chain reaching a correct traceability of the products.

To mitigate and minimize these losses in food, it is necessary strict control over the temperature of the product, so it is not only interesting monitoring and track changes, in addition to being the product the core part of the chain, it must control elements of the production of cold, prioritizing their needs and conservation, above values previously established

This project aims to address the potential mismatch of environmental conditions in the supply chain, designing and creating a communication system, monitoring and control of temperature using RFID tags with built-in sensor. These will be located a short distance or in permanent contact with the product, so that they can transmit to the producer and distributor of cold air, setting up their environmental needs in order that those are uniform and consistent with their characteristics.

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Contexto y justificación del Trabajo</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Objetivos del Trabajo</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Enfoque y método seguido</b>	<b>4</b>
<b>1.4 Planificación del Trabajo</b>	<b>5</b>
<b>1.5 Breve resumen de productos obtenidos.</b>	<b>8</b>
<b>1.6 Breve descripción de los otros capítulos de la memoria</b>	<b>8</b>
<b>2. Estado del Arte</b>	<b>10</b>
<b>2.1 La tecnología RFID</b>	<b>10</b>
2.1.1 Introducción	10
2.1.2 Componentes del Sistema RFID.	10
2.1.3 Tipos de Sistemas RFID.	12
2.1.3.1 Tecnología RFID aplicable al TFM.	13
<b>2.2 Sistemas Inalámbricos de Comunicación</b>	<b>14</b>
2.2.1 Introducción.	14
2.2.2 Relación de Protocolos de Comunicaciones Inalámbricos para aplicaciones industriales y comerciales.	15
2.2.2.1 Zigbee IEE 802.15.4.	15
2.2.2.2 Bluetooth.	15
2.2.2.3 Wifi o WLAN 802.11.	15
2.2.2.4 Wimax IEEE 802.16.	16
2.2.2.5 Wireless HART.	16
2.2.2.6 ISA 100.11 a.	16
2.2.3 Protocolo elegido para la comunicación inalámbrica del Sistema.	17
<b>2.3 Producción de Frío</b>	<b>17</b>
2.3.1 Introducción a las instalaciones frigoríficas.	17
2.3.1.1 Instalación Frigorífica Básica.	17
2.3.1.2 Control Automático de la Instalación Básica.	19
2.3.1.3 Instalación frigorífica centralizada de múltiples servicios.	20
2.3.1.4 Refrigeración para el transporte de productos perecederos.	21
<b>2.3 La cadena de frío</b>	<b>22</b>
2.3.1 Introducción.	22
2.3.2 Las distintas temperaturas de los productos en la conservación por frío	24
2.3.2.1 Las distintas temperaturas del producto en el TFM.	28
2.3.3 Antecedentes. Propuestas actuales en monitorización y control para la Cadena de Frío.	28
2.3.3.1 Propuesta 1G-RFID-Sys, Smart Cold Chain System (SCCS).	28
2.3.3.2 Propuesta 2G-RFID-Sys, Refined Smart Cold Chain System (RSCCS)	30
2.3.3.3 Análisis y comparación de las distintas propuestas.	31
<b>3. Sistema de Control Automático de Temperatura.</b>	<b>34</b>
<b>3.1 Diseño de la Arquitectura y Tecnologías</b>	<b>34</b>
<b>3.2 Hardware del Sistema.</b>	<b>35</b>
3.2.1 Hardware del Lector UHF RFID BeeReader.	35
3.2.1.1 Chip AS3992 UHF RFID Reader.	36
3.2.1.2 Arduino Mega 2560 R3.	38
3.2.1.3 Xbee y Shield.	39
3.2.1.4 Antena.	41

3.2.1.5 Display LCD.	43
3.2.2 Conexionado y funcionamiento de BeeReader UHF RFID.	43
3.2.3 Hardware del Controlador de Servicio Frigorífico BeeCold.	45
3.2.3.1 Componentes del Hardware de BeeCold.	47
3.2.3.2 Tarjeta de Relés (Relay Shield)	48
3.2.3.3 Modulo Adaptador de Sensores.	49
3.2.3.4 Módulo GSM/GPRS SIM 900.	51
3.2.3.5 Reloj de Tiempo Real DS1307.	52
3.2.4 Conexionado y funcionamiento del Controlador BeeCold.	53
<b>3.3 Software del Sistema.</b>	<b>56</b>
3.3.1 Software de BeeReader.	56
3.3.2 Comandos de Comunicación en BeeReader.	59
3.3.3 Software de BeeCold.	62
3.3.4 Parámetros de Programa de BeeCold.	64
3.3.5 Algoritmo de Ajuste de Consigna por datos de producto.	65
3.3.6 Interfaz Gráfica del Sistema.	68
3.3.6.1 Aplicación InterfaceBee.	68
<b>3.4 Pruebas y resultados del Sistema.</b>	<b>71</b>
3.4.1 Pruebas con el Lector UHF RFID BeeReader.	71
3.4.2 Pruebas con el controlador BeeCold.	74
3.4.3 Análisis de la aplicación del Ajuste de Temperatura en Instalaciones de Frío.	76
<b>3.5 Diseño final del Sistema.</b>	<b>77</b>
<b>4. Conclusiones</b>	<b>79</b>
<b>5. Glosario</b>	<b>81</b>
<b>6. Bibliografía</b>	<b>85</b>
<b>7. Anexos</b>	<b>89</b>
<b>7.1 Conocimientos sobre EPCGlobal Generación 2.</b>	<b>89</b>
<b>7.2 Etiquetas Analizadas con el Sistema.</b>	<b>90</b>
7.2.1 Etiqueta EASYLOG2 RT0005.	90
7.2.2 Etiqueta EASYLOG2 A927Z.	92

## Lista de figuras

<i>Ilustración 1 Pérdidas y desperdicio de alimentos per capita y zona geográfica</i>	1
<i>Ilustración 2. Pérdidas y desperdicio de alimentos según eslabones de la cadena alimentaria</i>	2
<i>Ilustración 3. Vista general del diagrama de Gantt</i>	6
<i>Ilustración 4. Hitos destacados del diagrama de Gantt.</i>	7
<i>Ilustración 5. Partes de una instalación frigorífica Básica</i>	18
<i>Ilustración 6. Módulo de Control y Sonatas de Temperatura para Instalaciones de Frío</i>	20
<i>Ilustración 7. Funcionalidad del IG-RFID-Sys (Smart Cold Chain System)</i>	29
<i>Ilustración 8. Modelo Smart Cold Chain System</i>	30
<i>Ilustración 9. Integración entre generaciones RFID-Sys y cliente</i>	31
<i>Ilustración 10. Representación funcional del Control Automático de Temperatura</i>	32
<i>Ilustración 11. Componentes del dispositivo BeeReader.</i>	36
<i>Ilustración 12. AS 3992 UHF RFID</i>	37
<i>Ilustración 13. Componentes de la placa Arduino Mega 2560 R3</i>	39
<i>Ilustración 14. Xbee de la Serie 2 Versión PRO y Xbee Serie 1 Versión Standard</i>	40
<i>Ilustración 15. Antenas modelo ISC.ANTU270/270 y ISC.ANTU600/270 de FQ Ingeniería</i>	42
<i>Ilustración 16. Sistema BeeReader en caja refrigerada</i>	43
<i>Ilustración 17. Display LCD para BeeReader</i>	43
<i>Ilustración 18. Prototipo BeeReader UHF RFID.</i>	44
<i>Ilustración 19. Prototipo de Control de Frío, BeeCold</i>	46
<i>Ilustración 20. Diagrama de Bloques del Prototipo BeeCold</i>	47
<i>Ilustración 21. Identificación de elementos en la Placa de Relés</i>	48
<i>Ilustración 22. Esquema eléctrico Placa de Relés y Actuadores de Servicio</i>	49
<i>Ilustración 23. Circuito de Adaptación para los sensores NTC</i>	51
<i>Ilustración 24. Tarjeta GPRS Shield SIM 900</i>	52
<i>Ilustración 25. Fases de control de servicio frigorífico</i>	54
<i>Ilustración 26. Controlador para Servicio de Frío BeeCold</i>	54
<i>Ilustración 27. Flujo de datos en el Sistema.</i>	56
<i>Ilustración 28. Relación de comandos básicos para el AS3992 Roger</i>	57
<i>Ilustración 29. Configuración inicial del Lector.</i>	57
<i>Ilustración 30. Rutina automática, inventario, selección y lectura de etiquetas.</i>	58
<i>Ilustración 31. Control manual mediante carácter clave desde un programa Serial.</i>	58
<i>Ilustración 32. Función para mostrar mensajes en el display LCD.</i>	59
<i>Ilustración 33. Configuración Serial, entradas, salidas y carga de parámetros</i>	63
<i>Ilustración 34. Estado de Paro Automático de Equipo de Frío</i>	63
<i>Ilustración 35. Proceso de Ejecución del Algoritmo de Ajuste de consigna.</i>	66
<i>Ilustración 36. Serial Monitor muestra el cálculo efectuado con tres productos</i>	67
<i>Ilustración 37. Programa de InterfaceBee con visualización de puerto Serie</i>	69
<i>Ilustración 38. Vista general de la Aplicación InterfazBee</i>	70
<i>Ilustración 39. Prueba y análisis del lector con un solo Tag.</i>	72
<i>Ilustración 40. Prueba y análisis del lector aumentando el numero de Etiquetas.</i>	73
<i>Ilustración 41. Prueba y análisis del lector en un entorno sin etiquetas</i>	74
<i>Ilustración 42. Serial Monitor y Xbee Explorer recibiendo datos de BeeCold</i>	74
<i>Ilustración 43. Análisis de la información de BeeCold</i>	75
<i>Ilustración 44. Sistema de Control Automático de Temperatura</i>	77
<i>Ilustración 45. Prototipos actuales de BeeReader y BeeCold e InterfazBee</i>	78
<i>Ilustración 46. Comunicación entre el Interrogador y la Etiqueta en la etapa de Inventario y Acceso.</i>	90
<i>Ilustración 47. Tag CAENRFID EASYLOG2 RT0005</i>	91
<i>Ilustración 48. Etiqueta CAEN RFID EASYLOG2 A927Z.</i>	93

## Lista de Tablas

<i>Tabla 1. Distintos tipos de clasificaciones de las Etiquetas o Tags</i> .....	11
<i>Tabla 2. Diferentes tipos de Sistemas RFID y sus características.</i> .....	13
<i>Tabla 3. Redes de comunicación Inalámbricas según ámbito de aplicación</i> .....	14
<i>Tabla 4. Categorías vehículos frigoríficos</i> .....	22
<i>Tabla 5. Temperaturas y procesos degenerativos</i> .....	23
<i>Tabla 6. Temperaturas ideales de las frutas</i> .....	24
<i>Tabla 7. Condiciones óptimas de las verduras y duración</i> .....	25
<i>Tabla 8. Temperaturas óptimas de conservación de los productos cárnicos</i> .....	26
<i>Tabla 9. Temperaturas óptimas de conservación de las flores y arbustos</i> .....	27
<i>Tabla 10. Temperaturas óptimas de conservación de las vacunas</i> .....	28
<i>Tabla 11. Comparativa entre las propuestas de Sistemas</i> .....	32
<i>Tabla 12. Especificaciones del modulo AS3992 UHF Reader</i> .....	37
<i>Tabla 13. Especificaciones entre las distintas series de Xbee y la versión PRO de S2</i> .....	41
<i>Tabla 14. Especificaciones de las dos antenas a considerar para el proyecto</i> .....	42
<i>Tabla 15. Conexión de pines entre componentes del Lector BeeReader</i> .....	44
<i>Tabla 16. Relación entre valores de Temperatura,</i> .....	50
<i>Tabla 17. Conexión de pines entre componentes BeeCold</i> .....	53
<i>Tabla 18. Partes de un Comando de petición de Inventario y ejemplo</i> .....	59
<i>Tabla 19. Partes de un Comando de respuesta a una solicitud de Inventario con ejemplo</i> .....	60
<i>Tabla 20. Partes de un Comando de Respuesta a SET GEN 2</i> .....	61
<i>Tabla 21. Partes de un Comando de Acceso a Memoria</i> .....	61
<i>Tabla 22. Partes de un Comando de Respuesta a READ</i> .....	61
<i>Tabla 23. Parámetros configurables en BeeCold</i> .....	64
<i>Tabla 24. Análisis de la durabilidad de varios tipos de frutas con un descenso de Temperatura.</i> .....	76
<i>Tabla 25. Estructura del identificador EPC (Electronic Product Code).</i> .....	89
<i>Tabla 26. Especificaciones técnicas del Tag CAENRFID EASYLOG2 RT0005.</i> .....	92
<i>Tabla 27. Especificaciones técnicas de la Etiqueta CAEN RFID EASYLOG2 A927Z</i> .....	93



# 1. Introducción

## 1.1 Contexto y justificación del Trabajo

Uno de los problemas más dramáticos en la actualidad, es que mientras una parte de la población pasa hambre, la otra parte desperdicia aproximadamente el 40% de su producción alimentaria. Este dato, lo aporta Dana Gunders (2012) [1] en su documento sobre las pérdidas en el sistema alimentario estadounidense, reafirmado posteriormente a nivel mundial por el informe FAO del grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición (HLPE, 2014) [2], en el que afirman que un tercio de los alimentos producidos en el mundo acaban siendo desperdiciados, un total de 1300 millones de toneladas anuales de producto a nivel global. Siendo, curiosamente en las zonas más desarrolladas, con mayor tecnología y medios, donde más pérdidas y desperdicios se producen.

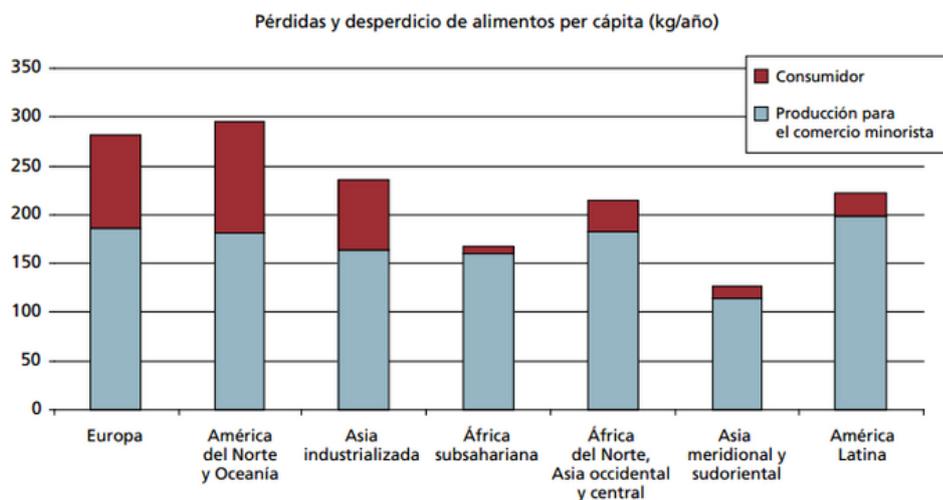
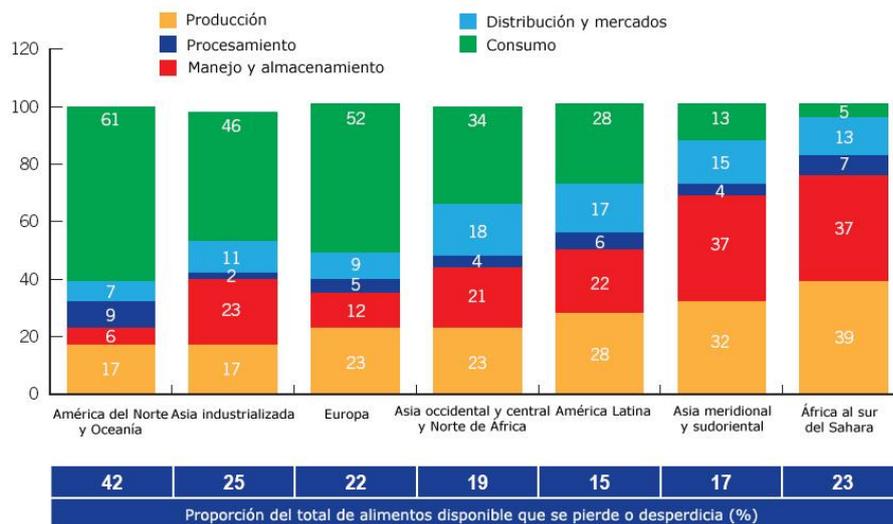


Ilustración 1 Pérdidas y desperdicio de alimentos per cápita y zona geográfica

Este hecho acarrea dos problemas, uno de ellos una pérdida parcial de los recursos empleados (energía, agua dulce, tierra de cultivo), y otro, los gastos que produce tratar todos esos desperdicios, principalmente la contaminación colateral que generan estos desechos. De todas formas, las causas de las pérdidas alimentarias son múltiples y variadas, muchas de ellas relacionadas o afectadas entre sí, donde los errores producidos en un eslabón de la cadena se transmiten y multiplican en los niveles contiguos. En este trabajo sin embargo, se focaliza sobretodo, en las pérdidas relacionadas con las distintas etapas de la cadena de frío (producción, almacenamiento, transporte, distribución y venta), dejando a un lado el resto de causas, cosechas, políticas de precio, intereses, malos hábitos del consumidor, etc.



**Ilustración 2. Pérdidas y desperdicio de alimentos según eslabones de la cadena alimentaria**

La cadena de frío hace referencia al control de temperatura, tanto de refrigeración como de congelación, a la que es necesario conservar los alimentos desde su producción o recolección hasta su venta al consumidor final. El empleo del frío en la conservación de alimentos permite reducir o retardar las alteraciones que paulatinamente deterioran los alimentos, ralentizando o deteniendo el crecimiento de microorganismos responsables de intoxicaciones o toxiinfecciones derivadas del consumo de alimentos. Si preservamos la cadena de frío, además de retrasar la degradación del producto, conseguiremos conservar intactas sus propiedades de olor, sabor y gusto.

Por lo tanto, los esfuerzos de este trabajo final, van encaminados a dotar a la Frigo-alimentación de un alto nivel de seguridad y supervisión, además de proporcionarle una mayor precisión y estabilidad en la temperatura del alimento. Para conseguirlo, actuaremos sobre los dos elementos principales de la cadena, el producto y la producción de frío, necesariamente obligados a estar en sintonía y sin embargo sin vínculo o comunicación entre ellos actualmente.

El evaporador dentro de las cámaras o contenedores frigoríficos, es la parte de la instalación frigorífica responsable de la distribución de aire a baja temperatura y el control de la misma se establece, en base a la medición realizada por tres sensores, temperatura de impulsión, temperatura de evaporación y temperatura de retorno o ambiente. Con ellos, realizamos tanto el control de las condiciones ambientales, como el autocontrol de los parámetros de funcionamiento del equipo. Pero curiosamente, en ningún momento, hay comunicación entre el enfriador y el enfriado, el producto no tiene posibilidad, en la actualidad de notificar o actuar sobre la distribución de frío, sobretodo ante una situación comprometida, sino que debe atenerse a las condiciones que previamente hayan sido programadas. El hecho de que exista esta incomunicación, permite, por ejemplo, que dentro de un recinto frigorífico se puedan encontrar diferencias de temperatura (de hasta 12 grados) [3],

dependiendo de la posición espacial que ocupe el producto en la carga. Estos desajustes provocarían una degradación en el alimento, y sin embargo, el funcionamiento del equipo estaría siendo desde un punto de vista mecánico, totalmente correcto.

Otro aspecto en el que mejoraríamos con la comunicación entre equipo frigorífico y producto es la precisión en las condiciones óptimas. El alimento perecedero necesita unos requisitos determinados, fundamentalmente de temperatura y humedad, sin embargo, se suelen aplicar consignas de control con valores estándar. Esto es un dato recogido de la experiencia de muchos años en el diseño de Instalaciones Frigoríficas y de los criterios que se utilizan en este sector industrial, en muchas ocasiones para buscar un falso ahorro energético en los equipos. Por ejemplo, a las frutas y verduras, en general, le aplicamos unos puntos de ajuste de 4 a 6 °C, sin embargo, cada producto en sí tiene una temperatura óptima de conservación más baja, por ejemplo, las cebollas cero grados, los plátanos 12,5 a 15,5 °C, lechuga entre 0 y 2 °C, etc. Lo mismo ocurre con las carnes, pescados mariscos o cualquier producto manufacturado, por lo tanto, si conseguimos que estos valores se cumplan de forma más exacta, podremos aumentar su durabilidad, manteniendo intacta su frescura y haciendo mayores las posibilidades de ser consumido que de ser desperdiciado, y el ahorro energético implementarlo por nuevos métodos y no a costa del alimento.

En este trabajo final, por lo tanto, se pretende variar el concepto hasta ahora establecido, creando una relación directa entre el producto y el evaporador, y al mismo tiempo con la instalación frigorífica en general. Convertir el alimento en el centro de la cadena de frío, de forma que este, en el momento de entrar en el recinto refrigerado informe al sistema enfriador cuáles son sus condiciones óptimas y pueda realizar de inmediato las acciones necesarias para proporcionárselas. Además, esa comunicación debe ser continuada en el tiempo, para que esas condiciones sean lo más permanentes y uniformes posibles.

## **1.2 Objetivos del Trabajo**

Los objetivos que se pretenden alcanzar con este trabajo son los siguientes:

- ✦ Analizar, estudiar y comprender la tecnología RFID (Radio Frequency Identification), conocer los distintos tipos de etiquetas, especialmente las semipasivas con sensores incorporados, trabajando en frecuencia UHF (Ultra High Frequency), fundamentales en este caso para el control de condiciones ambientales y producto en cámaras o contenedores frigoríficos. Esta tecnología no es precisamente económica, sobre todo cuando empezamos a tratar diversos aspectos como frecuencias ultra altas, antenas con mayores distancias, etiquetas especiales dotadas de sensado, lectores determinados u otros dispositivos que puedan interesarnos. Es por lo tanto un objetivo firme a alcanzar, el disponer de un sistema lo más económico posible. No solo al alcance de los grandes grupos empresariales, sino útil a cualquier pequeño

emprendedor. Para ello aprovecharemos las posibilidades que nos puedan ofrecer las plataformas de bajo precio, y tecnologías de forma que el desembolso económico sea lo más bajo posible, pero al mismo tiempo, presente la suficiente robustez para ser implementado en cualquier instalación.

- Diseñar, crear y probar un prototipo de dispositivo basado en la plataforma Arduino, con antena, placa lectora UHF RFID y comunicación, que permita leer los datos de las etiquetas y enviarlos por protocolo Zigbee al equipo de distribución de aire frío (evaporador). Analizar posibles modificaciones futuras que puedan permitir ampliar las prestaciones del dispositivo.
- Diseñar, crear y probar un prototipo de dispositivo basado en la plataforma Arduino que controle y regule el funcionamiento de un evaporador frigorífico. Dispondrá de tres sensores de temperatura, reloj de tiempo real, placa de relés para controlar, ventiladores, electroválvulas de frío y desescarche horario. Recibirá información del lector RFID y periódicamente enviará datos a una aplicación que monitorizará los estados de producto y condiciones de las cámaras frigoríficas de procesado o almacenamiento. El punto de consigna de trabajo será establecido en base a un algoritmo inteligente que relacionará los distintos tipos de productos, sus temperaturas óptimas y las cantidades almacenadas.
- Realizar una versión para el transporte refrigerado de productos, del dispositivo de control del evaporador anterior, basada en el prototipo anterior, que pueda recibir los datos del lector y enviarlos por GPRS (General Packet Radio Service) a una aplicación de monitorización de temperaturas y estados de los camiones o contenedores refrigerados, o en su defecto a un dispositivo móvil o Smartphone.
- Aplicación sencilla que permita recoger y visualizar datos de los distintos evaporadores de las cámaras frigoríficas de un pequeño almacén, así como los datos de producto.
- El principal objetivo, que engloba a todos los anteriores, es crear un sistema de comunicación que permita al alimento perecedero controlar y establecer las condiciones ambientales, principalmente temperatura, óptimas para su perfecta conservación.

### **1.3 Enfoque y método seguido**

El planteamiento empleado para conseguir un sistema de control y monitorización de temperatura, totalmente operativo, ampliable a más parámetros en el futuro, es eminentemente práctico y basado en etapas o fases escalonadas, siguiendo una distribución de abajo arriba.

Lo primero será estudiar y conocer en su máxima amplitud la tecnología RFID, además de unos conceptos básicos de instalaciones frigoríficas, así como de protocolos de comunicaciones inalámbricos para entornos industriales y comerciales. Todo ello, quedará plasmado en el Estado del Arte. Una vez adquiridos los conceptos, podremos realizar el diseño y montaje de un lector RFID económico que pueda captar los datos de las etiquetas, transmitiendo la información de forma fiable.

La siguiente etapa será disponer de un dispositivo de control y regulación de temperatura para servicio frigorífico, una vez hayamos analizado su capacidad de gestión sobre el equipo frigorífico, comprobaremos sus posibilidades para recibir y enviar información. Se realizará por lo tanto un ensamblado virtual con el nivel anterior.

El próximo escalón, una vez acoplado lector y el control de servicio, será preparar el Algoritmo Inteligente que determine el Punto de ajuste en caso de múltiples productos homólogos, con temperaturas óptimas distintas.

El siguiente paso será programar una pequeña aplicación que permita recoger por el puerto serie la información disponible en el dispositivo de control de evaporador, implementado en el escalón anterior, de forma que podamos visualizar las distintas cámaras frigoríficas de una instalación. De esta forma tendríamos ya completado el prototipo del sistema básico a instalar en un almacén frigorífico.

En un siguiente nivel implementaremos un control frigorífico similar al prototipo anterior, pero con un tipo distinto de comunicación al exterior, en este caso por GPRS, con la intención de gestionar un equipo frigorífico instalado en cualquier vehículo de transporte refrigerado y pueda enviar información, indicando tanto como esta el funcionamiento del equipo, así como detallando el estado del producto.

Para finalizar, se realizará una prueba real en cámara frigorífica, para demostración del funcionamiento de los prototipos realizados, analizando su funcionamiento y las posibles mejoras a realizar en siguientes fases.

## **1.4 Planificación del Trabajo**

Combinando los objetivos que se pretenden alcanzar, con las distintas etapas del proyecto y teniendo en cuenta las Pruebas de Evaluación Continuada que se deben presentar periódicamente, se realiza una planificación, en la que destacan los siguientes hitos:

**Fase 1. Recogida de información, preparación y planificación.** En este primer hito, se realiza una primera recopilación de información para el proyecto, así como los primeros esbozos de los prototipos a implementar. También se establecen los primeros contactos con aquellos proveedores de los distintos elementos necesarios para el desarrollo de los prototipos. Se realizará el Capítulo Uno de la memoria, en la cual se establecen los objetivos, motivación,

enfoque, la planificación temporal y la metodología empleada. Esta parte finalizará con la entrega de la PEC1.

**Fase 2. Estado del Arte, innovación del proyecto documentación etiquetas y diseño base del lector UHF.** En esta fase se realizará una recopilación de información sobre el estado de la tecnología RFID, elementos fundamentales de un servicio de refrigeración, control de temperatura habitual en un recinto refrigerado, como funcionan los sistemas actualmente y las distintas posibilidades que ofrece este nuevo sistema, además de recopilación de información sobre sistemas de comunicaciones inalámbricos con posibilidad en el proyecto o en futuras aplicaciones. Se analizarán los trabajos existentes y las aportaciones del proyecto. Se redactará el Capítulo Dos de la Memoria del proyecto y se empieza la etapa de diseño del lector RFID UHF. Este hito finaliza con la entrega de la PEC2.

**Fase 3. Diseño e implementación de Prototipos, Algoritmo y Aplicación.** Este hito que coincidirá con la PEC3, será temporalmente el mas amplio y es en él, donde simultáneamente se irán elaborando y ensamblando los distintos prototipos a utilizar en el sistema, incluido el Algoritmo de Gestión Inteligente. Se establecerán así mismo, pruebas de funcionamiento y se documentarán los trabajos realizados, además de los hechos conseguidos.

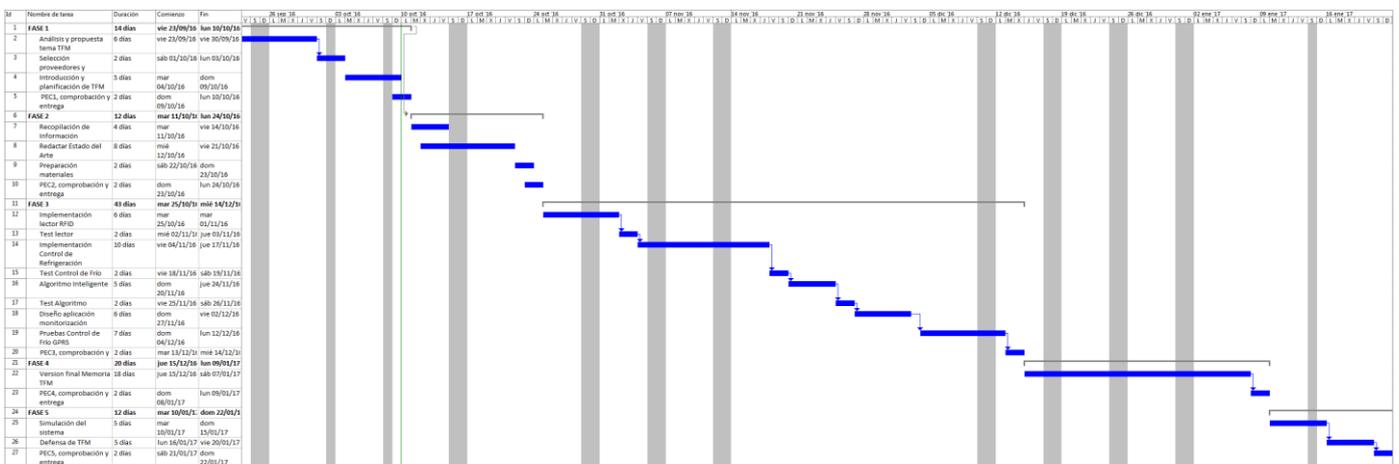


Ilustración 3. Vista general del diagrama de Gantt

**Fase 4. Redacción de la Memoria.** Es en esta fase, en la que se recopila la documentación obtenida en el diseño y fabricación de los prototipos, para componer y redactar la versión final de la memoria del proyecto final de Master. También efectuaremos una simulación real de los prototipos obtenidos y se documentará de forma gráfica su funcionamiento. Este hito concluye con la presentación de la PEC4.

**Fase 5. Defensa del proyecto y simulación del Sistema.** En este hito final se sintetiza todo el trabajo realizado preparando una presentación y se realizará una simulación definitiva del sistema aplicándolo en una situación real de trabajo. Esta fase finaliza con la entrega de la PEC5. Todos estos hitos y tareas

están reflejados en el diagrama de Gantt, el de la Ilustración 3 que representa una vista general y el de la Ilustración 4 donde se reflejan los hechos más importantes de la planificación temporal del Trabajo Final de Master.

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	26 sep '16									
					V	S	D	L	M	X	J	V	S	
1	<b>FASE 1</b>	<b>14 días</b>	vie 23/09/16	lun 10/10/16										
2	Análisis y propuesta tema TFM	6 días	vie 23/09/16	vie 30/09/16										
3	Selección proveedores y	2 días	sáb 01/10/16	lun 03/10/16										
4	Introducción y planificación de TFM	5 días	mar 04/10/16	dom 09/10/16										
5	PEC1, comprobación y entrega	2 días	dom 09/10/16	lun 10/10/16										
6	<b>FASE 2</b>	<b>12 días</b>	mar 11/10/16	lun 24/10/16										
7	Recopilación de Información	4 días	mar 11/10/16	vie 14/10/16										
8	Redactar Estado del Arte	8 días	mié 12/10/16	vie 21/10/16										
9	Preparación materiales	2 días	sáb 22/10/16	dom 23/10/16										
10	PEC2, comprobación y entrega	2 días	dom 23/10/16	lun 24/10/16										
11	<b>FASE 3</b>	<b>43 días</b>	mar 25/10/16	mié 14/12/16										
12	Implementación lector RFID	6 días	mar 25/10/16	mar 01/11/16										
13	Test lector	2 días	mié 02/11/16	jue 03/11/16										
14	Implementación Control de Refrigeración	10 días	vie 04/11/16	jue 17/11/16										
15	Test Control de Frío	2 días	vie 18/11/16	sáb 19/11/16										
16	Algoritmo Inteligente	5 días	dom 20/11/16	jue 24/11/16										
17	Test Algoritmo	2 días	vie 25/11/16	sáb 26/11/16										
18	Diseño aplicación monitorización	6 días	dom 27/11/16	vie 02/12/16										
19	Pruebas Control de Frío GPRS	7 días	dom 04/12/16	lun 12/12/16										
20	PEC3, comprobación y entrega	2 días	mar 13/12/16	mié 14/12/16										
21	<b>FASE 4</b>	<b>20 días</b>	jue 15/12/16	lun 09/01/17										
22	Version final Memoria TFM	18 días	jue 15/12/16	sáb 07/01/17										
23	PEC4, comprobación y entrega	2 días	dom 08/01/17	lun 09/01/17										
24	<b>FASE 5</b>	<b>12 días</b>	mar 10/01/17	dom 22/01/17										
25	Simulación del sistema	5 días	mar 10/01/17	dom 15/01/17										
26	Defensa de TFM	5 días	lun 16/01/17	vie 20/01/17										
27	PEC5, comprobación y entrega	2 días	sáb 21/01/17	dom 22/01/17										

Ilustración 4. Hitos destacados del diagrama de Gantt.

## **1.5 Breve resumen de productos obtenidos.**

La idea general de este proyecto es la de implementar un sistema de comunicación y gestión, que, instalado en una cámara, transporte o mueble frigorífico de cualquier tipo, establezca el control de las condiciones de temperatura y humedad de forma automática, en base al producto que se halle en su interior. Se trata de un Sistema innovador, simplemente porque no hay en estos momentos, nada en el mercado que realice este cometido, implicar la tecnología RFID en el control de los Equipos de Refrigeración.

De esta forma, implementado en la cadena de frío, el alimento será el que establezca cual es su mejor temperatura de conservación, la que garantice su máxima durabilidad, influyendo sobre los medios de Producción de Frío para obtener las condiciones mas óptimas, sin participación e intervención del factor humano. Se pretende con este sistema minimizar las perdidas de alimentos que se ocasionan por un deficiente control de los artículos en la cadena de frío. Esto garantiza al productor o proveedor de alimentos, que su producto puede llegar al consumidor en el mejor estado posible y si no lo hace, determinar cuales han sido las causas.

Para conseguirlo, se ha implementado un Sistema de Comunicación, compuesto por un Lector de Etiquetas, un Controlador de Equipos de Frío y una Aplicación de programación y monitorización para los prototipos, todo ello a un precio asequible.

Con este Sistema, todo producto, después de su recolección paletizado y etiquetado, en cuanto entra en un recinto de refrigeración, será sometido a consulta periódica por el Lector de Etiquetas, que transmitirá su estado y cuales son sus parámetros óptimos de conservación al Controlador, este realizará los ajustes oportunos en los Equipos de Refrigeración, para conseguir las condiciones ideales solicitadas. Mientras, en tiempo real estos datos, tanto de producto como del equipo se pueden monitorizar y registrar a través de la Aplicación del Sistema.

## **1.6 Breve descripción de los otros capítulos de la memoria**

En cada uno de los capítulos de la Memoria se profundizan y analizan distintas temáticas relacionados con el desarrollo de este Trabajo Final de Master, de la siguiente forma y manera:

- En el primer capítulo, se realiza una Introducción general al tema propuesto, cual son los objetivos y la motivación que lo determina, así como la planificación temporal previa para llevar a cabo el proyecto.
- En segundo capítulo, el del Estado del Arte, se analizan los distintos campos involucrados en este proyecto, por una parte, la tecnología RFID, los distintos tipos de tecnologías inalámbricas interesantes y aplicables en el proyecto, unos conocimientos generales de la industria del Frío y de la Cadena de Frío, así como cuales son las temperaturas

óptimas de conservación para la mayoría de alimentos. Al final se hace un análisis de los trabajos actuales con una temática similar al desarrollado en este proyecto, las propuestas de Kang y Chen.

- En el tercer capítulo, de Desarrollo de producto, se especifican cada uno de los componentes del Sistema implementado, Etiquetas, Lector y Aplicación, su arquitectura Hardware, las distintas partes del Software, conexión y funcionamiento, así como las pruebas realizadas para comprobar sus capacidades.
  
- En el capítulo de conclusiones se realiza un profundo análisis de los objetivos conseguidos, del aprendizaje obtenido y se determinan cuáles serán las líneas futuras en el desarrollo del proyecto.

## 2. Estado del Arte

### 2.1 La tecnología RFID.

#### 2.1.1 Introducción

RFID (Radio Frequency Identification), hace referencia a un sistema de identificación de personas, animales, bienes y productos en general, empleando ondas de radio frecuencia. Esta tecnología estaría englobada dentro de los denominados sistemas Auto-ID, compuestos por, códigos de barras, tarjetas inteligentes, sistemas de reconocimiento biométrico y reconocimiento óptico de imágenes. Las principales ventajas son:

- ✦ No requiere de visibilidad directa, ni contacto, para monitorizar las entidades.
- ✦ Se pueden leer múltiples elementos simultáneamente.
- ✦ Permiten una identificación única, con gran cantidad de información adicional disponible, incluyendo capacidad de sensado de las condiciones medioambientales.
- ✦ Alta resistencia al entorno, puede ir en el interior del elemento a identificar sin afectar a rendimiento.
- ✦ Versátil y económico si tenemos en cuenta el factor de reutilización.

Como desventaja, esta principalmente el costo, sobre todo en comparación con los códigos de barras, pero de un tiempo a esta parte, el abaratamiento de los precios de los dispositivos electrónicos, está permitiendo que sea un sistema en constante auge, por el valor añadido y las enormes posibilidades que ofrece [4].

#### 2.1.2 Componentes del Sistema RFID.

Los componentes principales del sistema son:

- ✦ **Etiqueta o Tag.** Es el dispositivo incorporado en el elemento a identificar, sobre él que contiene información detallada (código de identificación) y en caso de llevar incorporado algún tipo de sensor, las condiciones medidas en ese momento. Están formados por tres elementos:
  - Un circuito integrado, dotado de lógica de funcionamiento para dar respuesta al lector, y con capacidad de memoria, mayor o menor según el tipo de dispositivo.
  - Una antena incorporada, encargada de captar la señal del lector y emitir el contenido de la etiqueta.

- Material de recubrimiento, que es un sustrato que ensambla y protege el dispositivo, normalmente la encapsulación suele ser de material plástico.

Las etiquetas se pueden clasificar, tabla 1, desde distintos tipos, según la fuente de energía, su frecuencia habitual de trabajo, así como su capacidad de lectura o escritura [5].

Tipos de clasificación	Etiqueta o Tag	Descripción
<b>Según la gestión de la energía</b>	Pasiva	La energía es proporcionada por la antena del lector, cuando le envía la señal. Destacan por: <ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Son de bajo costo e ideales para el comercio al por menor.</li> <li>✦ Corto alcance, de centímetros a varios metros.</li> <li>✦ Bajo nivel de información.</li> <li>✦ Su vida útil es prácticamente ilimitada.</li> </ul>
	Semi-pasiva	Dispone de batería, que solo utiliza para el funcionamiento del circuito, sin embargo, la comunicación es realizada con la energía generada por la señal de la antena del Lector. Alcance hasta 10 o 15 metros.
	Activa	También dispone de una batería de mayor o menor potencia, que emplea para transmitir la información cuando esta es requerida. Un ejemplo, podría ser un transponder de una aeronave o el dispositivo LoJack de un automóvil, que indica su posición vía GPS. Puntos a destacar: <ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Alto coste.</li> <li>✦ Mayor rango en envío de señal (100 metros o más).</li> <li>✦ Vida útil limitada por la duración de la batería.</li> </ul>
<b>Según Frecuencia de trabajo</b>	LF (Baja Frecuencia)	125 Khz. a 134 Khz. Características principales: <ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Lecturas a menos de medio metro.</li> <li>✦ Lecturas de un máximo de 10 etiquetas por segundo</li> </ul>
	HF (Alta Frecuencia)	8,2 Mhz. a 13,56 Mhz. destacan por: <ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Lecturas a menos de 1,5 metros.</li> <li>✦ Máximo de 40 etiquetas leídas por segundo.</li> <li>✦ Pueden ser sensibles a los metales.</li> </ul>
	UHF (Ultra Alta Frecuencia)	Cubren la franja desde 433 Mhz, 860 Mhz hasta 928 Mhz. <ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Lecturas a mayores distancias, hasta 15 metros.</li> <li>✦ Más de 100 etiquetas leídas por segundo.</li> <li>✦ Pueden ser sensibles a los líquidos.</li> </ul>
<b>Según memoria, programable o no</b>	Solo lectura	Las etiquetas solo envían los datos disponibles habitualmente un número de identificación previamente grabado de origen.
	Lectura y Escritura	La memoria reservada al usuario, puede ser grabada en múltiples ocasiones

**Tabla 1. Distintos tipos de clasificaciones de las Etiquetas o Tags**

- ✦ **Lector RFID.** También conocido como interrogador o Readers (denominación en inglés), son los responsables de comunicar con las

Etiquetas. Capturan e interpretan la información que estas envíen y transmiten a una aplicación o base de datos los datos recopilados. Los Lectores tienen como elementos principales:

- Un elemento de radio frecuencia, con un módulo para transmitir y otro para recibir.
  - Una unidad de Control, dirigida por un microcontrolador, para codificar y decodificar las señales, verificar los datos recibidos, administrar el acceso al medio y gestionar la comunicación con la Base de Datos.
  - Una Antena que según su potencia proporcionará mayor o menor alcance al dispositivo.
  - Interfaz para comunicar con un Sistema de Información, a través de cualquier protocolo de comunicación cableado o inalámbrico, Ethernet, Bluetooth, Wifi, RS232, etc.
- ✦ **Middleware RFID.** Se trata de una aplicación dotada de conectividad con los lectores y con capacidad para gestionar una base de datos. Será la responsable de procesar la información recibida por el Lector, filtrarla, eliminando aquellos datos redundantes habituales en las lecturas.

### 2.1.3 Tipos de Sistemas RFID.

A la hora de decidir qué tipo de sistema RFID es el más conveniente para un determinado proyecto, en que frecuencia operar o qué tipo de etiqueta es la más conveniente, debemos primero analizar varios factores:

- ✦ El Rango lectura, distancia máxima de trabajo entre Tag y Reader.
- ✦ Tasa de lectura, teniendo en cuenta el número de etiquetas, sobretodo determinar la densidad de lectura simultánea que podamos necesitar.
- ✦ Área de aplicación a donde este destinado el Sistema, una cadena de suministros, peaje electrónico, identificación de personas o animales, gestión de productos, etc.
- ✦ Costo, tanto inversión inicial como el mantenimiento futuro del Sistema.

Según estas decisiones podemos elegir el rango de frecuencia en el que debe operar el sistema, LF (Baja Frecuencia), HF (Alta Frecuencia), UHF (Ultra Alta Frecuencia), así como si debe ser un sistema pasivo o activo, de forma que podamos determinar los componentes, etiqueta y lector, que mejor se adaptan a las condiciones del proyecto (tabla 2). Si un Sistema RFID funciona a una frecuencia baja, su rango de distancia es más corto y su tasa de datos más lenta, pero aumenta su capacidad para la lectura en condiciones difíciles por ejemplo sobre superficies de metal o líquidos. Sin embargo, en los sistemas con frecuencias más altas, disponen de mayor distancia de cobertura, rápida velocidad de transferencia, mayor número de etiquetas leídas simultáneamente, pero están sometidos con mayor facilidad a las interferencias ambientales [6].

	<b>Sistema LF</b>	<b>Sistema HF</b>	<b>Sistema UHF</b>
<b>Banda</b>	30 a 300 Khz.	3 a 30 Mhz	300 Mhz a 30Ghz
<b>Opera habitualmente</b>	125 Khz. 134 Khz.	13,56 Mhz	860 a 960 Mhz (Dependiendo zona geográfica)
<b>Rango de lectura</b>	hasta 10 cms	10 cms a 1 m	hasta 15 mts
<b>Sensibilidad Interferencias</b>	Bajo	Moderado	Alta
<b>Tasa de datos</b>	Baja	Media	Alta
<b>Área de Aplicación</b>	Control de Acceso Identificación y Seguimiento de Animales	Control de billetes, pagos y transferencia de datos	Cadena de Suministros, Gestión de inventario, industria farmacéutica, etc.
<b>Etiquetas disponibles</b>	Tags pasivos	Tags pasivos y semipasivos	Tags Activas (transpondedores o balizas), semipasivos, pasivas.
<b>Costo</b>	Bajo	Bajo	Admisible, si se emplean etiquetas pasivas UHF o semipasivas. Cinco a 35 Euros. Alto, con etiquetas activas.
<b>Standards o Normas</b>	ISO 14223 ISO/IEC 18000-2	>> ISO 15693 (seguimiento de objetos) >> ECMA-340 e ISO / IEC 18092 (comunicación NFC) >>ISO / IEC 14443 A y ISO / IEC 14443 para tecnología MIFARE), tarjetas inteligentes y de proximidad >> JIS X 6319-4 para FeliCa, dinero electrónico	UHF Gen2 EPCglobal (ISO 18000-6C)
<b>Aplicación a nivel Global</b>	No, por diferencias en los niveles de frecuencias y potencia	Si, aplicado a nivel global	Aplicación a nivel global

**Tabla 2. Diferentes tipos de Sistemas RFID y sus características.**

### **2.1.3.1 Tecnología RFID aplicable al TFM.**

Para la implementación de un Control de Temperatura Automático en la cadena de frío, es decir en un ámbito industrial, comercial y logístico, donde se establecen periódicas lecturas de etiquetas con sensor, dispersas en el área de trabajo y a determinadas distancias del Lector, es necesario utilizar un Sistema UHF RFID, que nos proporciona las características que necesitamos. Para abaratar costes generales, sin perder capacidades, la decisión son etiquetas de tipo semipasivas dotadas de sensores de temperatura o de humedad.

Normalmente el producto suele estar paletizado o en cajas de un determinado tamaño, por lo tanto, las etiquetas estarán distribuidas en una unidad por palé, o agrupación de cajas. De esta forma, no serán necesarios un número excesivo de Tags, que dispararía la inversión a realizar y los costos de mantenimiento tampoco nos afectará, al objetivo de conseguir unas condiciones ambientales similares y estables en todo el recinto enfriado.

## 2.2 Sistemas Inalámbricos de Comunicación.

### 2.2.1 Introducción.

Los sistemas inalámbricos de comunicación son aquellos que no utilizan cables para la comunicación entre los dispositivos que lo componen. La principal ventaja que tienen es que son de fácil instalación, reubicables y más económicos, la desventaja principal es el estar sometidos a las condiciones adversas del medio en el que se encuentren. Las técnicas utilizadas son IR (infrarrojos) y RF (radiofrecuencia), el primero para dispositivos con visibilidad directa, la segunda para comunicaciones de corto o medio alcance, pudiendo superar obstáculos y barreras. En la tabla 3 hay una representación de las distintas tecnologías de comunicaciones inalámbricas según el alcance y la cobertura para la que pueden ser aplicadas [7] [8].

Ámbito de Cobertura	Tecnologías
<b>Wireless Personal Área Network (WPAN)</b> (Para áreas de cobertura de corto alcance, menores de 10 metros)	HomeRF Bluetooth Zigbee RFID UWB
<b>Wireless Local Área Network (WLAN)</b> (Para áreas de ámbito local, podrían estar perfectamente agrupadas con las anteriores)	Hiperland2 Wifi (802.11b, 802.11g, 802.11a)
<b>Wireless Metropolitan Área Network (WMAN)</b> (Para áreas de cobertura metropolitana dispone de mayor ancho de banda)	Wimax LMDS
<b>Wireless Wide Área Network (WWAN)</b> (Son redes de área extensa, en ellas están englobados los protocolos de comunicaciones móviles)	Wimax UMTS GPRS, EDGE, CDMA 2000, GSM, 3G LDMS y Wifi autónoma
<b>Wireless Industrial Área Network</b> (Específicamente para un entorno Industrial)	Wireless HART ISA 100.11 <sup>a</sup> Bluetooth Zigbee RFID

Tabla 3. Redes de comunicación Inalámbricas según ámbito de aplicación

En este Trabajo solo detallaremos y destacaremos las características, por intereses del proyecto, de los más importantes de propósito general y los dos principales en el ámbito industrial, que pueden ser interesantes para la aplicación y desarrollo en el proyecto.

## **2.2.2 Relación de Protocolos de Comunicaciones Inalámbricos para aplicaciones industriales y comerciales.**

### **2.2.2.1 Zigbee IEE 802.15.4.**

Este protocolo nace como la idea de varias empresas de prestigio mundial, de crear un sistema estándar de comunicación no cableada y bidireccional, para uso en domótica, inmótica, control industrial, IoT (Internet de las cosas), periféricos y sensores. Su pretensión es ser la tecnología inalámbrica más simple y menos cara, pensada para cubrir el vacío que se produce por debajo de Bluetooth. La interoperabilidad de los productos y la no dependencia del proveedor lo hacen muy atractivo en aplicaciones de monitoreo y control.

Existen dos tipos de elementos FFD (dispositivos para todas las funciones) que pueden ser Coordinadores o Routers y RFD (dispositivos de función reducida), que solo operan como nodos finales. Como detalle de sus características, puede transmitir desde 20 Kbps hasta 250, operando en la banda de 2,4 Ghz y empleando tecnología GSS (Global Specification for Short Range Communication). Su consumo de energía es bajo y puede alcanzar rangos de 10 a 15 metros, dependiendo de las condiciones físicas y ambientales del área donde esté operando. Posee una garantía muy baja de QoS, siendo susceptible a interferencias. Para evitar colisiones utiliza CSMA/CD como acceso al medio. Es por lo tanto, un protocolo de paquete de datos para redes ligeras, de un número limitado de nodos. La seguridad no es obligatoria, aunque dispone de mecanismos para la autenticación, integridad y cifrado [9].

### **2.2.2.2 Bluetooth.**

Es un sistema identificado plenamente con las redes de Área Personal inalámbricas, WPAN, que ha sido principalmente establecido para el enlace entre dispositivos a corto alcance, de forma fácil y sencilla. Su uso más habitual es para transmisión de datos, voz, e incluso video. Opera en la banda ISM de 2,4 a 2,5 Ghz, con un rango de 10 a 100 metros dependiendo de la potencia de amplificación, 1 a 100 miliWattios. La tasa de transmisión de datos es de 721 Kbps de forma asimétrica y de 432 Kbps si lo hace de manera simétrica [9].

### **2.2.2.3 Wifi o WLAN 802.11.**

Sistema de comunicación sin cables para redes inalámbricas de Área Local (WLAN), empleado para redes de PC y transmisión entre periféricos. La Tasa de datos está establecida en modo bidireccional, con protocolo de acceso al medio CSMA/CD, que evita las colisiones realizando un monitoreo de señal en la red. La versión más conocida es la 802.11 que transmite 11 Mbps con una frecuencia de 2,4 Ghz, otras versiones pueden transmitir a más velocidad, como la (802.11g con 55 Mbps a 2,4 y la 802.11 a con 55Mbps a una frecuencia de 5,7 Ghz).

#### **2.2.2.4 Wimax IEEE 802.16.**

Este protocolo es especialista en la comunicación punto a multipunto, BWA (Broadband Wireless Access), no entra en conflicto con Wifi sino que lo complementa, ya que es una tecnología MAN (Redes de Área Metropolitana), que puede permitir acceder a Internet a los protocolos de Redes de Área Local. Su alcance es de 50 Kilómetros, su cobertura se mide en kilómetros cuadrados, de área lineal de Servicio, permitiendo conectividad directa con la estación base. Su velocidad de transmisión puede ser de hasta 70 Mbit/s, lo que la hace más asequible que los accesos a Satélite. Puede permitir millones de accesos a Internet de forma económica y sencilla [9].

#### **2.2.2.5 Wireless HART.**

Protocolo que forma parte de la especificación HART, siendo el primer estándar libre de comunicación inalámbrica diseñado especialmente para aplicaciones de medición y control de procesos, tiene por lo tanto un cariz industrial. Se basa en una red mallada inalámbrica, comprometida con una serie de requisitos fundamentales:

- ✦ Fácil de usar e implementar.
- ✦ Auto-organizable y auto-reparable.
- ✦ Flexible, soporta distintos tipos de aplicaciones.
- ✦ Escalable, debe cubrir, tanto grandes como pequeñas plantas.
- ✦ Fiable y Segura, prioriza la seguridad del Sistema.

Trabaja en la banda 2,4 Ghz ISM, con una velocidad de datos de 250 Kbit/s, en 15 canales de 5 Mhz. Emplea TDMA para el acceso al medio y minimizar las colisiones, reduciendo el consumo de energía. Su topología es en malla, aunque podría emplear otros tipos, no son recomendables. La mayoría de los dispositivos que la componen son elementos de campo, sensores y actuadores, conectados en un entorno industrial. La seguridad en este protocolo es obligatoria, a través de encriptación y autenticación de mensajes, cualquier dispositivo debe conocer la clave de seguridad para incorporarse a la red [10].

#### **2.2.2.6 ISA 100.11 a.**

Estándar diseñado para dar soporte a las necesidades inalámbricas de una amplia gama de instalaciones industriales, incluyendo automatización de procesos y fábricas o identificación por radiofrecuencia. Sus requisitos, comunes con Wireless HART son la flexibilidad, soporte para múltiples protocolos y aplicaciones, uso de estándares abiertos, fiabilidad (detección de errores, salto de canal), y es determinista y seguro.

Está pensado para redes de bajo consumo y baja velocidad, la topología debe ser estrella ya que no todos los dispositivos pueden soportar el rol de router, por lo tanto todos los elementos de la red, deben tener perfectamente asignados sus roles y posición en la organización (Router, Backbone, System Manager, Gateway, etc.). Emplea la tecnología radio DSSS que permite la

coexistencia de otros usuarios del mismo espectro, opera en la banda ISM de 2,4 Ghz, por lo que no necesita licencia. Está basado en los protocolos 6LOWPAN, Ipv6 y los estándares UDP, dispone por lo tanto de un elevado número de direcciones disponibles para grandes redes. El Acceso al medio es TDMA y dispone de soporte QoS. La seguridad con clave, de sesión, combinación o global, es opcional y no de obligado cumplimiento como Wireless HART [10].

### **2.2.3 Protocolo elegido para la comunicación inalámbrica del Sistema.**

El protocolo de comunicación elegido para el Sistema diseñado e implementado en este proyecto, es Zigbee. La elección se basa en la perfecta compatibilidad que hay con la plataforma Arduino, su sencillez a la hora del desarrollo y configuración de los dispositivos, la facilidad de obtener los módulos de comunicación en el mercado, así como el precio fundamentalmente. Siendo este Sistema, un Prototipo principalmente económico y en el que tampoco necesitamos cubrir grandes distancias entre los elementos que lo componen, se considera que este protocolo cumple todas las expectativas.

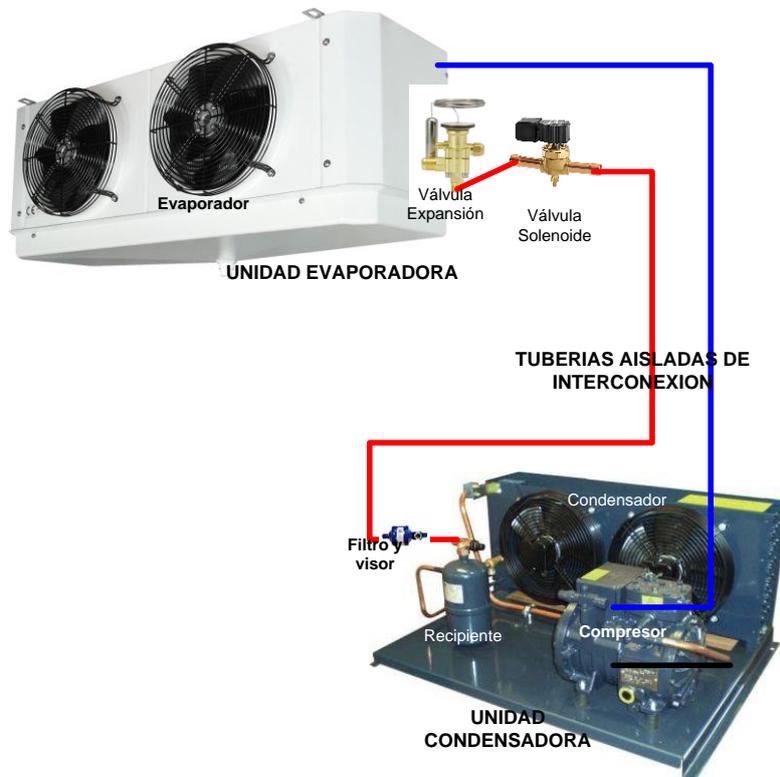
## **2.3 Producción de Frío.**

### **2.3.1 Introducción a las instalaciones frigoríficas.**

La técnica del Frío es fundamental dentro de la evolución Industrial y Comercial en los últimos tiempos, abarcando desde la conservación de alimentos (plantas refrigeradas, carne, pescado, verduras), productos farmacéuticos sensibles, materias para la industria (hielo), transporte de refrigerados o congelados (barcos, camiones), sistemas de calefacción, climatización y también de Agua Caliente Sanitaria. En este Trabajo Final solo analizaremos la producción de frío, en el ámbito de la cadena de suministros de productos a temperatura controlada, es decir, a nivel industrial, logístico, comercial y doméstico.

#### **2.3.1.1 Instalación Frigorífica Básica.**

El principio Básico de la refrigeración, es que cuando se evapora un refrigerante, la causa es haber absorbido calor al medio, aunque el problema principal es controlar la ebullición de ese fluido, obtener la cantidad de frío necesario y además mantener esa temperatura. Para conseguirlo se debe manipular el refrigerante haciéndolo pasar por cuatro fases, compresión, condensación, expansión y evaporación.



**Ilustración 5. Partes de una instalación frigorífica Básica**

La instalación frigorífica básica está compuesta por cuatro elementos principales fácilmente identificables en la Ilustración 5, que son:

- ✦ **Recinto a enfriar.** Es el depósito, armario, expositor o cámara frigorífica perfectamente aislada y delimitada, en cuyo interior se desea mantener una temperatura más baja que la ambiental.
- ✦ **Unidad Condensadora.** Es el modulo o parte de la instalación, en la que se realiza la fase de compresión y condensación del fluido, dispondrá de una conexión frigorífica de entrada (línea de gas) y otra de salida (línea de líquido), en las cuales se efectuará la interconexión con la unidad evaporadora. Está conformado a su vez por:
  - Compresor. Dispositivo mecánico que comprime el refrigerante en un espacio reducido, provocando su aumento de temperatura y presión.
  - Condensador. El fluido comprimido es condensado, al ceder temperatura debido a la circulación de aire exterior, cambiando el estado del refrigerante de gas a líquido, dispondrá de la temperatura del aire exterior y conserva la alta presión.
  - Recipiente. Depósito donde se recoge el líquido del condensador y mantiene un nivel suficiente para mantener abastecida la instalación.
  - Filtro. Elemento para absorber humedad o impurezas del circuito.
  - Visor de líquido. Nos indica la falta o no de refrigerante en la instalación.

- ✦ **Unidad Evaporadora.** Es la parte de la instalación en la cual se realizan la fase de expansión y de evaporación del refrigerante. Está compuesta por:
  - Válvula Solenoide. Electroválvula de dos posiciones, abierta o cerrada, corta el paso de refrigerante en el momento de ser alcanzada la temperatura deseada.
  - Válvula de Expansión (Termostáticas o Electrónicas). Elemento que realiza la expansión del fluido, pasando el líquido de alta a baja presión.
  - Evaporador. En él se realiza la evaporación del refrigerante al absorber el calor del recinto, pasando de líquido a estado gaseoso y a partir de ese momento es aspirado por el compresor y empieza un nuevo ciclo.
  
- ✦ **Tuberías de Interconexión.** Son dos tuberías aisladas para conectar la unidad condensadora y la unidad evaporadora y cerrar el circuito.

El control (paro y marcha) de la instalación, se realizará, actuando eléctricamente sobre la electroválvula solenoide (apertura o cierre) y deteniendo el funcionamiento de la unidad condensadora (compresor y ventiladores), los ventiladores de la unidad evaporadora se dejan en funcionamiento para recircular aire todavía frío por la cámara y haya una mejor distribución de temperatura.

### 2.3.1.2 Control Automático de la Instalación Básica.

El control de temperatura del local a refrigerar lo realiza el termostato, midiendo la temperatura ambiental interior del recinto. Aunque, aún existen los termostatos mecánicos, las instalaciones modernas cuentan ya con dispositivos electrónicos para el control, en su mayoría son microprocesadores programables, que pueden conectar con varios sensores y realizan todas las funciones necesarias para un ajuste correcto de la instalación. Estas son las distintas funciones, en las versiones menos complejas:

- ✦ Control de Temperatura. Detecta la temperatura del medio a enfriar y según esté por debajo o por encima del Setpoint programado, ejecuta eléctricamente el cierre o apertura de la Válvula Solenoide, deteniendo o iniciando el ciclo de refrigeración.
- ✦ Control de desescarche o descongelación. Las unidades evaporadoras, durante el proceso de enfriado van acumulando escarcha de la humedad extraída al aire ambiental, que con el tiempo se acaba convirtiendo en hielo, esto puede impedir, el paso del aire y reducir la eficacia del Evaporador. Para solucionarlo, se deben realizar descongelaciones programadas de forma periódica, más de 4 diarias dependiendo de la instalación. En el proceso de desescarchado se para el enfriamiento, (electroválvula off), se detienen los ventiladores y

se activan unas resistencias calefactoras interiores del evaporador. Una vez terminado el tiempo de descongelación, o por subida excesiva de temperatura en el interior del evaporador, se reinicia la producción de frío.

- ✦ Control de ventiladores. Actúa poniendo en marcha o parando los ventiladores del evaporador según sean las necesidades de la instalación.

El módulo de control termostático electrónico, Ilustración 5, mide las temperaturas, con como mínimo dos sensores remotos, estratégicamente situados:

- ✦ Sensor de ambiente o retorno. Está en la entrada de aire al evaporador, que se supone es la temperatura más elevada del habitáculo cuando está siendo refrigerado.
- ✦ Sensor de temperatura de evaporación. Situado en el interior (en las aletas del evaporador) de gran valor para el control del desescarche.

En muchas instalaciones hay un tercer elemento, sensor de producto o impulsión, situado en la salida de aire o en el producto (cercano al alimento), pero suele ser opcional y para un control más preciso.



**Ilustración 6. Módulo de Control y Sondas de Temperatura para Instalaciones de Frío**

El objetivo de este Trabajo, es sustituir este módulo de control, por uno que, realizando las mismas funciones y cometidos, pueda interactuar con el Sistema RFID. De esta forma pasamos de un control de temperatura común, mediante sensado del aire circulante, a uno de control por temperatura de producto. Al mismo tiempo conseguimos un Sistema de monitorización y vigilancia de la Instalación frigorífica total, con transmisión de datos remotos y sin emplear costosos sistemas propietarios.

### **2.3.1.3 Instalación frigorífica centralizada de múltiples servicios.**

Actualmente en las grandes plantas industriales y comerciales (almacenes frigoríficos, supermercados, mataderos, mercados de abastos, etc.), la

tendencia es a múltiples instalaciones básicas en la producción de frío, debido principalmente a las elevadas cargas impositivas en las recargas de gas refrigerante, ante el dañino efecto invernadero que producen, (excepto CO2 y Amoniaco).

A pesar de ello, aún sigue siendo rentable y recomendable en las grandes Plantas de Refrigeración o Congelación, el empleo de estructuras frigoríficas centralizadas, sobre todo por el ahorro económico, energético y de espacio que representan. Las variaciones con respecto a las plantas básicas es cuestión de tamaño y organización. Mientras en el modelo sencillo había una unidad condensadora en contacto con el exterior, en la Central de Frío tenemos una unidad de múltiples compresores, en paralelo o cascada, situada en una Sala de Máquinas acondicionada para alojarlos, y disponemos uno o varios condensadores en paralelo, de mayor dimensión, en contacto con el ambiente exterior. En estas instalaciones centralizadas con múltiples recintos fríos funcionando simultáneamente, las Unidades Evaporadoras, se convierten en Servicios Frigoríficos, dotados de uno o varios evaporadores funcionando al unísono, según la regulación efectuada por un Módulo de Control de Temperatura que comunicará con un PLC o Centralita, quien realiza el control y monitorización de la instalación a nivel general.

El hecho de que la Planta disponga de un sistema centralizado de enfriamiento, no afectaría al objetivo de este proyecto, pues el control de temperatura, se ejecuta de la misma forma que en el modelo básico. En este caso, el Sistema aquí desarrollado, actuaría sobre el Servicio Frigorífico de la misma forma que en la instalación básica lo hace sobre la unidad Evaporadora, solo sería necesario realizar una integración con el Sistema PLC o Centralita de Control de la Central de Refrigeración, por posibles programas de Ahorro Energético.

#### **2.3.1.4 Refrigeración para el transporte de productos perecederos.**

El transporte de productos perecederos se realiza en vehículos con caja refrigerada y pueden ser de varios tipos [11]:

- ✦ Vehículo Isothermo. El recinto o caja está totalmente aislado, limitando el intercambio de calor con el exterior. Solo indicado para trayectos cortos, de corta duración.
- ✦ Vehículo Refrigerado. Caja totalmente aislada, que dispone de una fuente de frío no mecánico, que previamente es enfriada o congelada, suelen ser placas eutécticas, hielo carbónico, hielo hídrico, etc.
- ✦ Vehículo Frigorífico. Aislado, con equipo de producción de frío mecánico, que permite bajar la temperatura de la caja en más de 30 grados y mantenerla, pueden ser de distintas categorías según tabla 4

Existe también la refrigeración en otros medios de locomoción, principalmente en los grandes barcos o incluso trenes, pero se escapan un poco del alcance de este proyecto, aunque en definitiva siguen los mismos principios que las plantas refrigeradoras básicas o centralizadas.

Categoría	Temperatura
<b>Clase A</b>	12 y 0 °C inclusive
<b>Clase B</b>	12 y 10 °C inclusive
<b>Clase C</b>	12 y 20 °C inclusive
<b>Clase D</b>	< 0 °C
<b>Clase E</b>	< -10 °C
<b>Clase F</b>	<-20 °C

**Tabla 4. Categorías vehículos frigoríficos**

Para los intereses del proyecto, cuando hablemos de vehículos a baja temperatura, nos estaremos refiriendo a Vehículos Frigoríficos que siguen el mismo principio de funcionamiento que las instalaciones de Refrigeración Básicas, disponiendo de los mismos elementos y control de temperatura.

## **2.3 La cadena de frío.**

### **2.3.1 Introducción.**

Se denomina cadena de frío, a las distintas etapas que componen el suministro y distribución de productos bajo temperatura controlada, desde el momento de la postcosecha hasta su consumo. Todos los eslabones de esta cadena, recolección o producción, almacenamiento, transporte, distribución, venta y conservación por el consumidor, se mantienen en un rango de temperaturas adecuado según la naturaleza del alimento, si cualquier punto de la cadena se viese comprometido, toda ella se vería afectada perjudicando la seguridad y calidad del producto.

Aunque asociamos la cadena de frío básicamente con los alimentos perecederos, hay distintas variantes según las categorías de producto, que se clasificarían de la siguiente forma:

- ✦ Carne cruda fresca y procesada, como por ejemplo, pollo, ternera, cerdo, cordero, carnes frías, embutidos etc.
- ✦ Pescados, Mariscos y derivados.
- ✦ Leche cruda y sus correspondientes derivados lácteos.
- ✦ Frutas y verduras. La gran mayoría de estos alimentos necesitan de una maduración en ambiente con condiciones especiales tanto de temperatura como de humedad controlada.
- ✦ Materias primas. En muchas industrias se requieren distintos tipos de materias primas que requieren estar sometidas a control de temperatura.
- ✦ Alimentos congelados. En este tipo de cadena se incluyen todo tipo de alimentos, carnes, pescados, mariscos, verduras, precocinados, helados, hielo, etc.
- ✦ Floricultura. Todo tipo de flores y árboles.

- ✦ Vacunas y fármacos. Con este tipo de cadena se garantiza la potencia inmunizante de los medicamentos desde la fabricación hasta su administración al paciente.
- ✦ Órganos humanos. Los trasplantes de órganos requieren de una logística de cadena de frío muy especial.

Lo que se consigue preservando la cadena de frío, no es ni más ni menos que retrasar la degradación natural del alimento y conservar al máximo sus propiedades naturales. Según la temperatura disminuye, se reduce de forma considerable la velocidad de crecimiento de la mayoría de los microorganismos, así como de las reacciones enzimáticas, llegando incluso a detenerlas, por lo que el alimento prolonga considerablemente su conservación y disminuye su riesgo microbiológico. En la tabla 1 se puede observar cómo afecta la bajada de la temperatura, en los procesos degenerativos de los alimentos [12].

<b>Grados</b>	<b>Efecto</b>	<b>Consecuencia</b>
Temperatura optima de producto fresco	Ralentiza el crecimiento de los microorganismos y reacciones enzimáticas	Conserva el producto al máximo de sus posibilidades, aunque no detiene su proceso de deterioro.
-4°C y -7 °C	Inhibe el crecimiento de los microorganismos patógenos.	Estos microorganismos son peligrosos para la salud, debido a que son productores de enfermedades, a través de infecciones o de toxinas que pueden provocar intoxicaciones.
-10°C	Inhibe el crecimiento de microorganismos alterantes.	Mejora la integridad del alimento ya que son los responsables de la degradación del producto
-18 °C	Se inhiben todas las reacciones responsables del pardeamiento.	Evita los efectos habituales de oxidación del producto o pardeamiento enzimático. Esta temperatura es la fijada como estándar de congelación para la cadena de frío internacional.
-70	Se anulan todas las reacciones enzimáticas	El producto se conservaría de manera indefinida.

**Tabla 5. Temperaturas y procesos degenerativos**

La rotura de la cadena de frío, provoca algunas implicaciones destacadas:

- ✦ Una alteración de la calidad de los alimentos.
- ✦ Existe un mayor riesgo de intoxicaciones o toxiinfecciones producidas por el consumo de alimentos en mal estado.
- ✦ Causa un deterioro acelerado de los alimentos, provocando un acortamiento de su tiempo de vida, que puede ocasionar finalmente su merma o pérdida definitiva.

Es importante, controlar la vida útil del producto, tanto el tiempo de almacenamiento, el volumen de producción y las condiciones ambientales a las que está expuesto en todo momento. Principalmente, en el tema de las condiciones de temperatura, hay informes que evidencian, que una parte sustancial de los productos congelados y refrigerados, han sido expuestos en determinadas etapas de la cadena de frío, a valores fuera de los rangos recomendados. Para evitarlo es necesario disponer de un control efectivo de temperatura durante todas las etapas de la cadena de frío, mejorando los equipos, los sistemas que garantizan la calidad y una concienciación profunda del personal que opera o gestiona los distintos procesos.

La filosofía actual que se sigue para garantizar la calidad de los productos y la optimización en la cadena de frío es fundamentalmente la monitorización, el registro y el control preventivo de las condiciones medioambientales [13], especialmente de la temperatura, parámetro principal en el control de los productos perecederos.

### 2.3.2 Las distintas temperaturas de los productos en la conservación por frío

A diferencia de otros sistemas de conservación como salazones, encurtidos, ahumados confituras, etc., la conservación por frío es el único con capacidad para conseguir que el sabor, olor y aspecto de los productos, apenas se diferencien de los alimentos frescos, pudiendo mantenerse durante varios meses sin alteraciones, si el tratamiento es correcto. Las causas principales de la descomposición de los alimentos pueden ser puramente físicos (deformación por evaporación del agua), químicos o biológicos (intervención de las enzimas o fermentos) y por la acción de los microorganismos, principalmente bacterias y hongos.

Producto	Temperaturas °C	Tiempo de conservación semanas
Albaricoque	0 a 4	2 a 4
Cereza	0 a 4	1 a 3
Frambuesa	0 a 4	3 a 5 días
Fresa	0 a 4	1 a 5 días
Higo	0 a 4	1 a 2
Mango	5 a 9	2 a 6
Melón	10 a 12	1 a 3
Plátano	10 a 12	1 a 3
Sandía	5 a 9	2 a 3
Aguacate	5 a 9	2 a 4
Ciruela	0 a 4	2 a 7
Mandarina	5 a 9	4 a 6
Melocotón	0 a 4	1 a 4
Piña madura	5 a 9	2 a 4
Uva	0 a 4	4 a 6
Coco	0 a 4	6 a 8
Naranja	0 a 4	8 a 12
Limón	12 a 20	12 a 20
Manzana	0 a 4	8 a 30
Pera	0 a 4	8 a 30
Pomelo	12 a 16	12 a 16

Tabla 6. Temperaturas ideales de las frutas

Todos estos procesos se pueden ralentizar o incluso detener, como se explicaba en el anterior apartado de la cadena de frío, reduciendo la temperatura. Según esta desciende, también lo hace la tensión de vapor, (a 30°C es de 31,8 milímetros y a 0°C es de 4,6). Aunque no todos los procesos son idénticos, se acepta que por cada 10 grados de descenso de temperatura se reduce la velocidad del proceso de deterioro en 2 o 3 veces, es decir que la duración del alimento se duplica o triplica. Partiendo de una media establecida en 2,5 veces, se estima que un producto a 0°C se puede mantener en condiciones óptimas un tiempo superior en 15 veces al que se mantendría a 30 grados.

Producto	Temperatura °C	Humedad Relativa %	Duración conservación meses, semanas o días	Punto de congelación mas elevado
Ajo	0	65 a 70	6 a 7 m	-0,9
Alcachofa	-0,5 a 0	95	3 a 4 s	-1,2
Apio	0	95	4 a 12 s	-0,5
Berenjena	7 a 12	90 a 95	1 a 2 s	-0,8
Brécol	0	90 a 95	1 a 2 s	-0,6
Calabaza	10 a 13	50 a 75	2 a 5 m	-0,9
Cebolla	-2 a 0	65 a 70	6 a 8 m	-0,8
Cebolleta	-1	95	2 s	-1
Col	0	95	3 a 6 s	-0,6
Coliflor	0	95	2 a 4 s	-0,8
Champiñón	0	90 a 95	5 a 7 d	-0,9
Endivia	0	95	2 a 3 s	-0,1
Espárrago	0 a 2	85 a 95	2 a 3 s	-0,6
Espinaca	0	90 a 95	1 a 2 s	-0,3
Guisante	-1 a 0	95	1 a 3 s	-0,5
Haba	0	92 a 95	2 a 3 s	-0,8
Hinojo	-1	95	1 s	-0,8
Judía Verde	7 a 8	92 a 95	1 a 2 s	-0,7
Lechuga	0 a 1	95	1 a 3 s	-0,2
Maíz	0	95	1 s	-0,6
Nabo	0	95	4 a 5 m	-1
Patata	4,5 a 10	90 a 95	5 a 9 m	-1,3
Perejil	0	95	4 a 8 s	-1,1
Pimiento	7 a 10	90 a 95	1 a 3 s	-0,9
Puerro	0	95	3 m	-0,7
Rábano	0 a 2	90 a 95	2 a 4 s	-0,7
Remolacha	0	92 a 95	5 a 6 m	-0,9
Setas	0	90 a 95	5 a 7 d	-0,9
Tomate	8 a 10	85 a 90	1 a 2 s	-0,6
Zanahoria	0	95	5 a 8 m	-1,4

**Tabla 7. Condiciones óptimas de las verduras y duración**

Es por lo tanto muy importante, cuando se trata de refrigeración de alimentos, mantener estos lo mas cerca posible, sin alcanzarlo, de su punto de congelación, así estiraremos su durabilidad lo máximo posible. Por ejemplo, la vida de la pera, modalidad Williams, a -1°C es casi el doble que a 1 grado centígrado. Variedades de manzanas, melocotones o ciruelas se puede alargar su durabilidad un 25% más bajándola de 1,5°C a 0,5 grados centígrados. Por supuesto, para ello es imprescindible un control riguroso de temperatura, que no permita variaciones superiores a 0,5 grados. Estos son ejemplos perfectos de la importancia que tiene mantener las temperaturas de los productos lo más ajustadas posibles [14].

Las temperaturas óptimas que garantizan una mayor durabilidad del producto fresco o congelado, según su pertenencia a una u otra cadena de frío serían:

✦ **Frutas y verduras refrigeradas.**

En la tabla 6 podemos observar, la durabilidad de algunas típicas frutas, representantes de las habituales en los mercados o supermercados, bajo unas determinadas condiciones de temperatura. Simplemente son una referencia útil para que un Sistema RFID tenga en cuenta cuales son las mejores temperaturas de trabajo, según el producto.

En la tabla 7 tenemos también la durabilidad de las hortalizas, además de bajo condiciones controladas de temperatura, con regulación de humedad, otro parámetro importante, y no de menor entidad en algunos alimentos. Como se puede observar los puntos de ajuste de la temperatura son óptimos según estén muy cercanos a su punto de congelación [15] [16].

✦ **Productos Cárnicos, mariscos y pescados refrigerados.**

En cuanto a los productos cárnicos, la temperatura correcta es entre -1 y 0 grados, excepto para el tocino que se recomienda una temperatura de -3°C, debido a su alto contenido en sal. La Humedad relativa es importante, tanto como la temperatura, deben ir unidos, acercándose a un 90% para evitar el posible resecamiento. Habitualmente, en la mayoría de los almacenes la temperatura esta entre 3 y 7 grados, siendo su punto óptimo aquel cercano al punto de congelación.

Producto	Temperatura	Hr %	Tiempo de conservación
Vaca	-1	90	3 s
Tenera	-1	90	1 a 3 s
Cordero	-1	90 a 95	10 a 15 d
Cerdo	-1	90 a 95	1 a 2 s
Tocino	-3	85	1 a 2 s
Despojos comestibles	-1	85 a 90	15 d
Embutidos	0 a 4	85 a 90	largo

**Tabla 8. Temperaturas óptimas de conservación de los productos cárnicos**

En lo que respeta a los pescados y mariscos, sean de captura o crianza se recomienda que estén, cubiertos con hielo y almacenados en cámaras frigoríficas a -1°C, habitualmente ya son refrigerados una vez realizada la captura y así deben ser mantenidos ya que su tiempo de almacenado es corto y depende de la especie, pudiendo ser de unos días hasta un máximo de un mes.

✦ **Leche, Derivados Lácteos, alimentos preparados.**

La leche debe mantener un riguroso control de temperatura desde que es ordeñada hasta que llega al consumidor, su temperatura óptima es entre 3 y 4°C, a partir de ese punto empieza a producirse un importante crecimiento

bacteriano y por debajo de ese rango se podrían producir cristalización por congelación y pérdidas de propiedades. El resto de productos derivados, por ejemplo, quesos, yogures y demás, se recomiendan temperaturas entre 2 y 5°C como máximo, caso aparte es la mantequilla que se considera oportuno congelarla -12 a -15°C para disponer de una durabilidad máxima de 5 meses, a temperaturas mas altas es menor su margen para consumo. Los alimentos, en general preparados se recomienda una temperatura de entre 1 a 3 grados centígrados.

#### ✦ Flores y follaje de floristería.

La respiración de las flores y follaje en general es una parte integral del crecimiento y la vejez, y un generador de calor. Adicionalmente, a medida que la temperatura ambiente sube, la tasa de respiración aumenta. Por ejemplo, una flor a 30° C posiblemente respire (y por lo tanto envejezca) hasta 45 veces más rápido que una flor que se encuentre a 2° C [17]. La tasa de envejecimiento puede reducirse drásticamente, enfriando las flores y manteniendo una temperatura estable. Un enfriamiento rápido acompañado de una cadena de frío estable, son por lo tanto esenciales para asegurar la calidad de la mayoría de las flores cortadas, arbustos y follaje que actualmente se comercializan para ornamentación. En la siguiente tabla se pueden distinguir según determinados grupos, las distintas temperaturas recomendables para su correcta conservación.

Grupo	Ejemplos de producto	Temperatura	HR %
1	Clavel, Crisantemo, Jacinto, Muérdago, Narciso, Pino, Gardenia, Tulipán, Rosa, Helechos, etc.	0 a 2	90 a 95
2	Acacia, Amapola, Brezo, Caléndula, Dalia Margarita, Violeta, Camelia, Eucalipto, etc.	4,5	90 a 95
3	Anémona, Eucharis, Godetia, Orquídea, Palma, etc.	7 a 10	90 a 95
4	Jengibre, Heliconia, Poinsetta, Helecho, Cuerno de Venado	-1	90 a 95

**Tabla 9. Temperaturas óptimas de conservación de las flores y arbustos**

#### ✦ Vacunas y Órganos para trasplante.

La temperatura en los productos farmacéuticos refrigerados, es de vital importancia para mantener su calidad. El rango adecuado de temperatura oscila entre los 2 y 8 grados, por norma general, aunque también hay distinciones en algunos tipos de vacunas, que pueden exigir un nivel térmico mas bajo. Además de la temperatura, también influye en sus condiciones óptimas, el control de la luminosidad ambiental. De la misma forma que en los alimentos, exponer las vacunas o medicamentos a unas temperaturas excesivamente bajas también puede perjudicar su calidad.

Tipo	Temperatura
Antipoliomielítica	+ 4°C y + 8°C
Antisarampionosa	0°C a - 8°C
DPT	+2°C a +8°C
BCG	0°C a +8°C

**Tabla 10. Temperaturas óptimas de conservación de las vacunas**

En cuanto a los Órganos para trasplante estos deben mantenerse en una temperatura de 4°C hasta el momento del implante, en algunos casos se trata de tiempos muy cortos, de horas, pero en otros, por ejemplos corneas son de 7 a 10 días, medula 3 años y piel o huesos hasta 5 años, siendo fundamental un perfecto y prolongado control de temperatura.

#### ✦ **Productos Congelados.**

En la mayoría de los productos congelados existe una importante relación, al igual que los frescos, en cuanto a que cuanto mas baja es la temperatura, mayor es el tiempo durante el cual se mantienen sus condiciones, aroma, color, vitaminas, etc. Se trata de una relación exponencial en la mayoría de los casos, una hortaliza como el guisante a -12°C tiene una durabilidad de 6 meses, sin embargo, a -18 es de 24 y a -24 alcanza los 30 meses. El inconveniente, en el caso de las frutas y verduras, es que cuanto mas baja es la temperatura de almacenamiento, existe una perdida diaria de calidad mayor que se va acumulando, hasta llegar a ser perceptible por el consumidor.

### **2.3.2.1 Las distintas temperaturas del producto en el TFM.**

Como se puede observar en esta recopilación tan extensa de información sobre la temperatura de los alimentos, cada producto sea fresco o congelado tiene su temperatura. Dependiendo de esta y de la humedad, se pueden aumentar o disminuir los tiempos de almacenaje para la venta. En el caso de los productos frescos, la clave es acercarse lo más posible a su punto de congelación, con un margen de seguridad para evitar el deterioro por congelamiento.

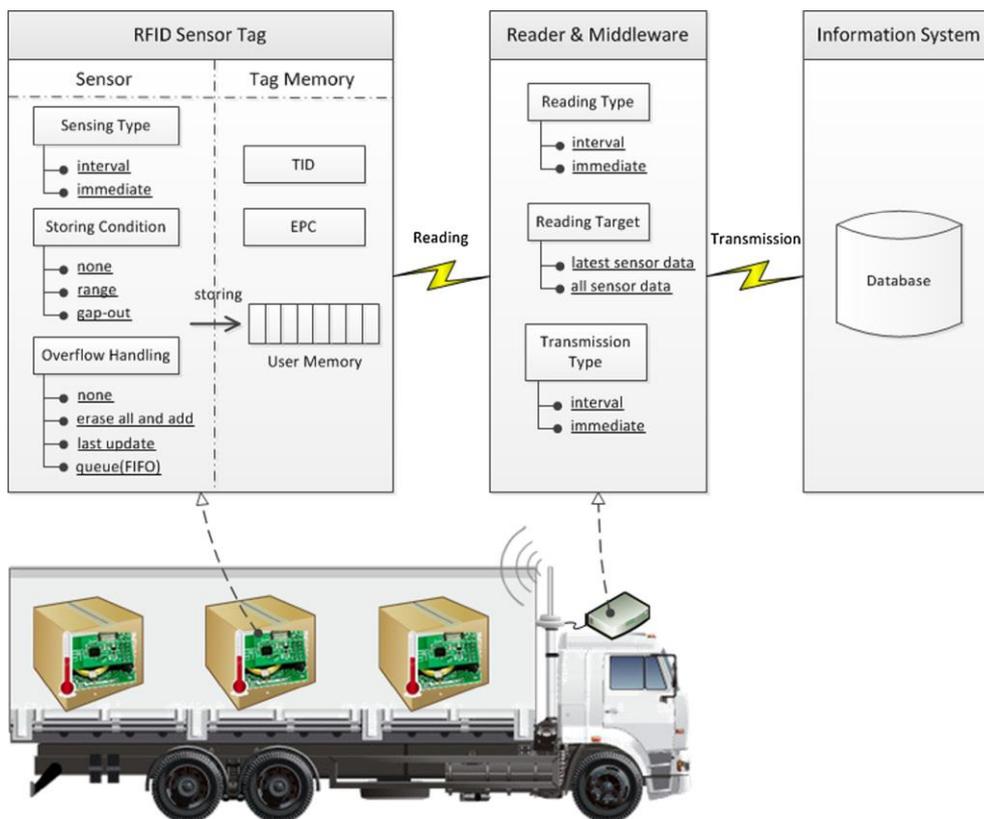
El objetivo de este análisis, es comprobar, que las temperaturas cotidianas de los productos en las cámaras industriales, en los camiones de transportes, en los expositores de los supermercados, suelen estar por norma muy por encima de los valores óptimos. Esto provoca que cuando el consumidor compra el producto, este ha perdido efecto de durabilidad, siendo en los hogares donde más alimentos se desperdician, no siendo ellos los culpables, sino un control defectuoso de la cadena de frío.

### **2.3.3 Antecedentes. Propuestas actuales en monitorización y control para la Cadena de Frío.**

#### **2.3.3.1 Propuesta 1G-RFID-System, Smart Cold Chain System (SCCS).**

Se trata de una propuesta basada en la tecnología Internet de las Cosas, derivada y mas actualizada de un anterior sistema, al que denominaremos primera generación, el Smart Cold Chain System de Kang et al. (2012) [18].

En este diseño, se implementa un sistema en el que cada paquete o caja de comida, dispone de una etiqueta semipasiva, que puede integrar varios sensores, temperatura, humedad y presión, además de disponer de suficiente memoria y capacidad lógica para establecer el tipo de medición, así como las condiciones de almacenamiento o las de manipulación. Los datos recogidos pueden ser transferidos a un Sistema de Información de Alimentos, a través del Lector de etiquetas. En la Ilustración 7, se puede apreciar la funcionalidad del sistema aplicado, en este caso en el transporte de productos, pero serviría como base para cualquier tipo de almacenaje. Se trata de un Sistema para controlar la trazabilidad de la Cadena de Frío.



**Ilustración 7. Funcionalidad del 1G-RFID-Sys (Smart Cold Chain System)**

Se considera que este sistema plantea dos principales inconvenientes:

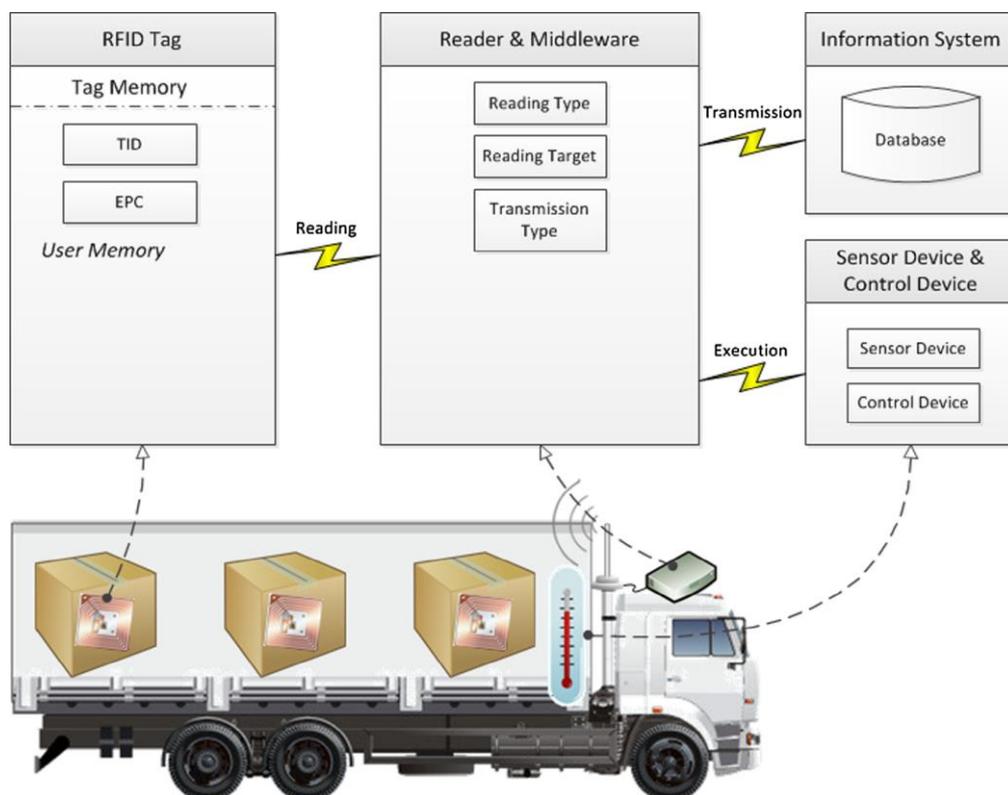
1. Por una parte, al disponer de etiquetas semipasivas, requiere de una alta inversión inicial, además de un alto costo operativo del sistema. Esto se podría solucionar con etiquetas de tipo pasivo.
2. Presenta un problema de escalabilidad, al sobrecargar el lector, este estaría sometido a una gran presión, teniendo que conocer un

número elevado de productos y en algunos casos, tales como el vino, con un tiempo de vida útil prolongado, el sistema de información acumularía una gran cantidad de datos registrados, para realizar el seguimiento durante su existencia.

Es a partir de estas desventajas cómo se desarrolla la propuesta del siguiente apartado.

### 2.3.3.2 Propuesta 2G-RFID-Sys, Refined Smart Cold Chain System (RSCCS)

Para resolver las desventajas que a priori representa la propuesta SCCS, se diseña el denominado 2G-RFID-Sys propuesto por Chen et al, según investigaciones anteriores (Chen et al, 2010; Chen 2013) y conocido como Refined Smart Cold Chain System [19]. Este sistema está compuesto según se puede apreciar en la ilustración 8 por:



**Ilustración 8. Modelo Smart Cold Chain System**

- Etiquetas pasivas. Incorporan unos códigos móviles, en la memoria de usuario, donde están registrados los requerimientos del producto, tanto condiciones de temperatura o humedad, como datos de almacenamiento, manipulación y otros.
- El Lector y Middleware, con capacidad de procesamiento, leerá estos códigos y los interpretará. Dispone de un gestor de códigos, un

intérprete, un gestor de parámetros, uno de acciones, y según la información obtenida, en base a su programación, enviará órdenes al Dispositivo de Control y Medición. Además, se responsabiliza de transmitir los datos recabados, a la Base de Datos del Sistema de Información.

- ✦ El Dispositivo de Control con Sensores incorporados, es el responsable de medir las condiciones medioambientales del recinto, además de controlar la unidad correspondiente de enfriamiento, en base a las condiciones propuestas por el Lector y Middleware.

Lo que se pretende con esta segunda generación, como se puede observar en la Ilustración 9, es una integración con la primera generación y conseguir que el cliente en el supermercado pueda acceder con su SmartPhone al código móvil y conocer todos los detalles, sus condiciones de suministro, además de las características del producto

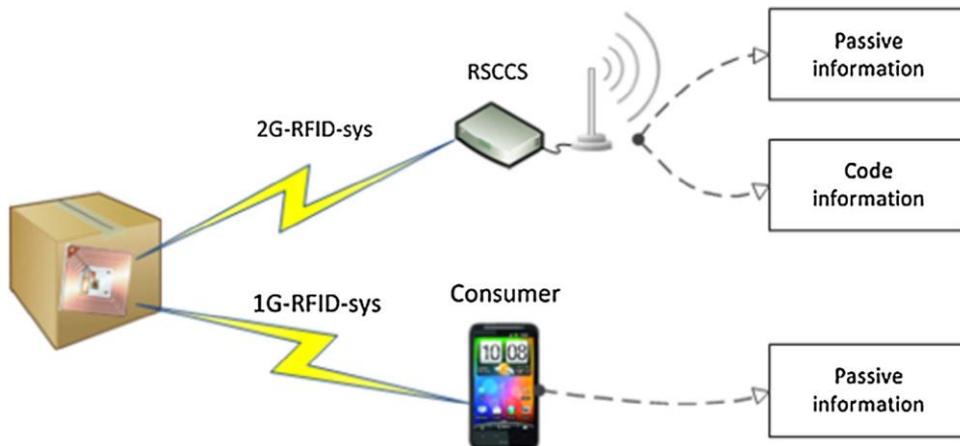


Ilustración 9. Integración entre generaciones RFID-Sys y cliente

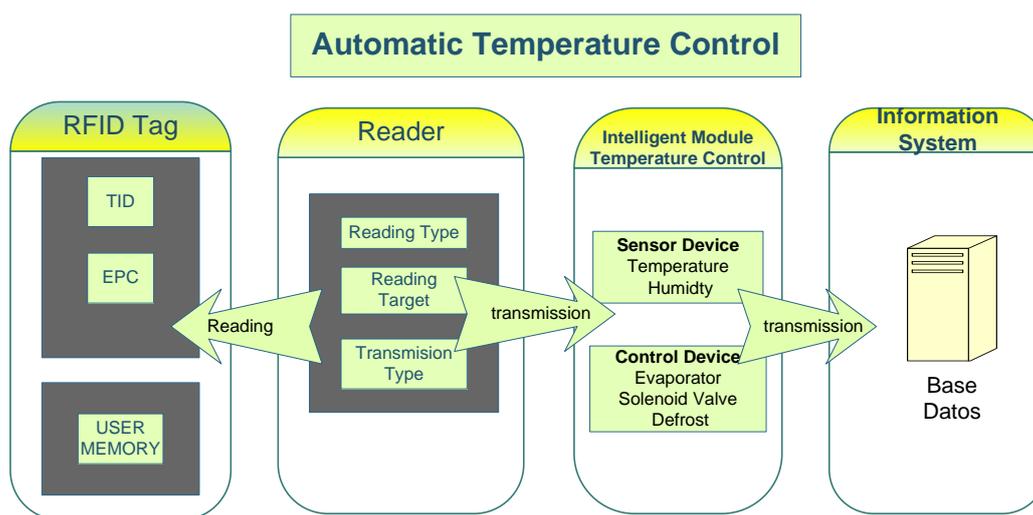
### 2.3.3.3 Análisis y comparación de las distintas propuestas.

En la ilustración 10 se puede observar cómo sería la representación funcional base del Control Automático de Temperatura para Cadena de Frío, para poder establecer una comparación, aunque en el Capítulo 3, se desarrollará en profundidad.

Los distintos elementos del sistema actuarían de la siguiente forma:

- ✦ Los Tags semipasivos irán dotados de sensores, principalmente de temperatura.
- ✦ El Lector captura las señales enviadas por las Etiquetas y las transmite de forma ordenada.

- ✦ El Módulo de Control Inteligente de Temperatura recibe los datos del Lector y los gestiona, ajustando la consigna de temperatura a los valores recomendables para el alimento. En las mediciones posteriores enviadas por el producto, comparará y si es necesario aumentará la potencia de refrigeración.
- ✦ El Sistema de Información recibe los datos del producto a través del módulo y realiza un registro de los datos, de esta forma podemos establecer la trazabilidad del alimento.



**Ilustración 10. Representación funcional del Control Automático de Temperatura**

En la siguiente tabla 11 se establece una comparativa entre la propuesta SCCS, RSCCS y el Control Automático de Temperatura, para conocer las capacidades de uno y otro Sistema.

	1G-RFID-Sys (SCCS)	2G-RFID-Sys (SCCS)	Control Automático de Temperatura
<b>Tipo de Tags</b>	semi-pasivo	pasivo	semi-pasivo
<b>Frecuencia de Operación</b>	UHF	UHF	UHF
<b>Elemento Clave</b>	Lector	Lector	MICT
<b>Registro de Trazabilidad</b>	si	si	si
<b>Control de Temperatura</b>	no	si	si
<b>Control descongelaciones</b>	no	no	si
<b>Escalable</b>	bajo	alto	alto
<b>Tiempo de respuesta</b>	Depende servidor/red	Inmediato	Inmediato

**Tabla 11. Comparativa entre las propuestas de Sistemas**

A pesar de tener como se puede apreciar muchos puntos en común, las claves a favor del Control Automático de Temperatura con respecto a los modelos de Kang y Chen se basan en los siguientes puntos:

- ✦ El modelo de Chen, 2G-RFID-Sys:
  - No dispone de control de temperatura por producto. La medición de la temperatura la realiza el Dispositivo de Control y Sensado, sin tener en cuenta en ningún momento la situación en la que se encuentre el producto. En función de eso, ni el Lector ni los Tags están aportando nada en el ajuste de las condiciones del producto. Un ejemplo sería, un producto demasiado alejado del evaporador que tiene una temperatura cinco grados más alta que otro más cercano, en ningún momento el controlador lo podría detectar y corregirlo.
  - No registra las condiciones y estados del Sistema de Refrigeración, no pudiendo realizar una respuesta inmediata en caso de fallos.
  - No plantea la posibilidad de distintos alimentos con distintas temperaturas.
  - El utilizar etiquetas pasivas implica perder funcionalidades que si mantiene el Control Automático, histograma, alarmas de alta y baja etc.
  - Sobrecarga de labores al Lector, un fallo en este perjudica totalmente al Sistema, no teniendo registro de temperaturas ni ejecución sobre el dispositivo de control y sensado, sin embargo, en el Control Automático, los Tags siguen registrando la Temperatura y el dispositivo produciendo frío.
  - No hay ningún tipo de información del diseño del Sistema ni implementación de la solución, siendo por lo tanto muy difícil efectuar una comparación entre un Sistema real y un estudio.
  
- ✦ Con respecto al 1G-RFID Sys, este es un sistema simple de monitorización sin ninguna función ejecutora sobre los Equipos de frío, ni con ningún tipo de gestión automática, que, si aporta el Control Automático de Temperatura, por lo tanto no son comparables directamente.

## 3. Sistema de Control Automático de Temperatura.

### 3.1 Diseño de la Arquitectura y Tecnologías

El Sistema, en su versión básica, está compuesto por cuatro elementos principales, que son:

- **Etiquetas o Tags.** Son de tipo semipasiva, operando en banda UHF (Ultra-High frequency) y estarán situados en los palés o cajas en permanente contacto con el producto. Disponen como mínimo, independientemente de la marca y modelo elegido, de un sensor de temperatura incorporado, este puede ser externo o interno, incluso ir acompañado también de un sensor de humedad. Como el ajuste de la humedad, para un Sistema de Refrigeración, es más complicado, siendo necesarios equipos adicionales o transformaciones complejas, y teniendo en cuenta que la mayoría de los productos perecederos no requieren un control de humedad específico, se han seleccionado para este prototipo, etiquetas solo con sensor de temperatura, dejando para versiones futuras, el ajuste y control de la humedad. El problema habitualmente suele ser incrementarla, reducirla es lo normal al enfriar, ya que la producción artificial de frío en un ambiente cerrado extrae humedad del aire y del producto.
- **Lector de Etiquetas UHF RFID.** Es el responsable de efectuar la lectura periódica de los Tags, para ello primero llevará a cabo un inventario de control de las etiquetas bajo su influencia, para posteriormente seleccionarlas y solicitar la lectura de sus datos, tanto de temperatura como de usuario. Toda la información obtenida es enviada al Controlador del Sistema de Refrigeración de forma inalámbrica, por protocolo Zigbee.
- **Controlador de Refrigeración.** Efectúa la gestión y control del Equipo de refrigeración dentro de unos valores pre programados. Sus funciones son:
  - Mantener la temperatura dentro de unos varemos, determinados por el Setpoint (temperatura de consigna) y la histéresis (valor diferencial).
  - Realizar las descongelaciones en los horarios establecidos, comprobando su correcto desarrollo y actuar sobre los distintos elementos de la instalación frigorífica, con el fin de optimizar su funcionamiento.
  - Ejecutar continuas comprobaciones de seguridad del sistema, para que en caso de errores emitir los avisos de alarma correspondientes.
  - Establecer el periodo de muestreo con el que el Lector realizará la lectura de las etiquetas y el posterior envío de datos.
  - Transmitir a la aplicación informática, los datos de temperatura y estado del controlador de frío, así como los datos del producto.

Todas las comunicaciones serán de forma inalámbrica, empleando Zigbee en la interacción con el lector y Zigbee o GPRS (General Packet Radio Service), según las circunstancias, en la comunicación con la interfaz gráfica.

- **Interfaz gráfica.** Desarrollada en Processing, realiza tres funciones principales:
  - Siendo la primera la de realizar la programación de forma fácil e intuitiva de los parámetros principales del sistema de control de frío, esto se puede hacer previamente por USB o de forma inalámbrica en tiempo real, incluso estando operativo el dispositivo sobre la instalación.
  - La segunda función es la de servir como elemento gráfico global de visualización y observación del funcionamiento del Sistema.
  - La última función es la de almacenar los datos enviados desde el control de frío y que corresponden tanto al funcionamiento del Sistema de refrigeración, como al estado del producto.

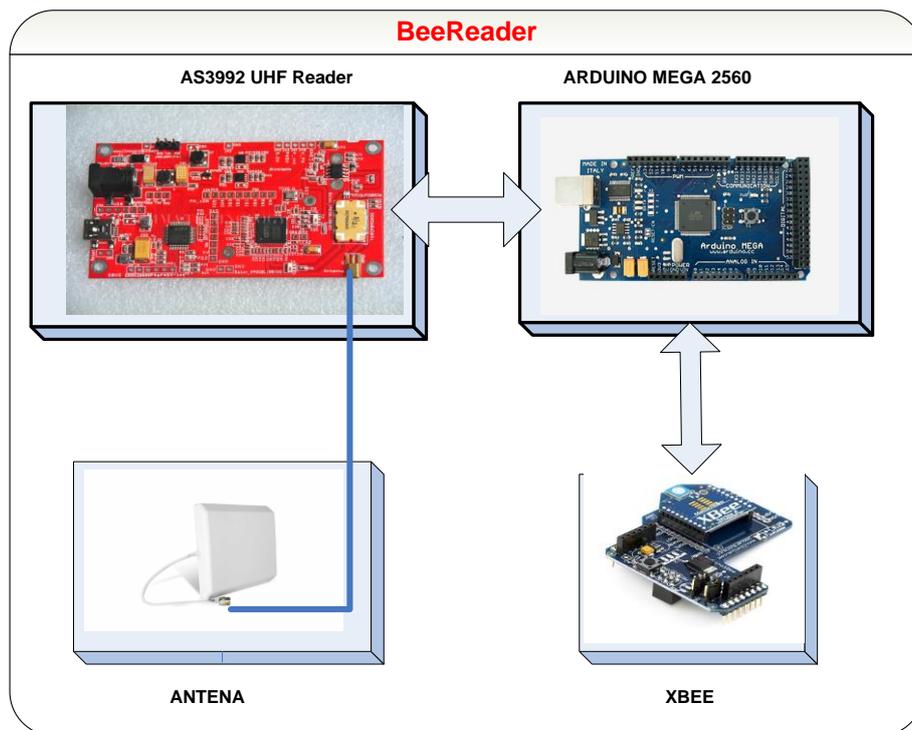
## 3.2 Hardware del Sistema.

### 3.2.1 Hardware del Lector UHF RFID BeeReader.

El prototipo de Lector propuesto en este proyecto, que a partir de ahora recibirá el nombre de BeeReader, está compuesto por cuatro componentes principales, estos son:

- Módulo AS3992 UHF RFID Reader.
- Arduino Mega 2560.
- Placa Shield Xbee y módulo Xbee Pro.
- Antena (según el alcance puede ser de 5 hasta 12 dbi).
- Display LCD 2004A.

En la Ilustración 11 se observan estos cuatro bloques que conforman la arquitectura hardware del dispositivo de lectura y escritura, la tarjeta AS3992 recibirá alimentación a 5V y se unirá a la placa Arduino Mega mediante 3 hilos (TX, RX, GND). Esta recibirá alimentación de 9V y sobre ella se acoplará directamente la Xbee Shield, la cual contiene ensamblado el módulo de comunicación Xbee Pro. La Antena conectará mediante cable coaxial y terminal MMCX al elemento AS3992. Dispone el conjunto, también, de una pantalla gráfica ante la necesidad de visualizar en tiempo real, tanto las tareas que se encuentre realizando el lector como los resultados que esté obteniendo.



**Ilustración 11. Componentes del dispositivo BeeReader.**

### **3.2.1.1 Chip AS3992 UHF RFID Reader.**

El módulo AS3992 Roger es un circuito integrado para interfaz de usuario, que permite el manejo de los protocolos, EPCGlobal Clase 1 Generación 2 (ISO 18000-6C) e ISO 18000-6A/B (en modo directo), para lectores UHF RFID. El circuito dispone de un microcontrolador, el C8051F340 de Silicon Labs, que realiza las funciones de ajuste y de control del lector. La placa es configurable mediante la modificación de varios registros de control que permiten especificar los parámetros de operación de nuestro sistema. Dependiendo del tipo de firmware instalado, soporta dos versiones de interfaz de comunicación una es a través de los pines UART (transmisor/receptor asíncrono universal), que será la utilizada en este sistema y la otra por puerto USB para poder comunicarse y/o indicarle las funciones a realizar.

El transmisor genera una potencia de salida de 20 dBm y una carga de 50 Ohmios, con capacidad para modulación ASK (Amplitude-shift keying) y PR-ASK, lo que permite una cierta adaptabilidad a antenas de distinta potencia, según rango de operación del sistema. Además, realiza la generación automática de una parte de las señales de control, Preámbulo, Frame-Sync y el CRC (código de redundancia cíclica), añadiéndolas a los comandos EPC Generación 2 enviados por el usuario, todos unidos conformarán el paquete enviado al Tag.

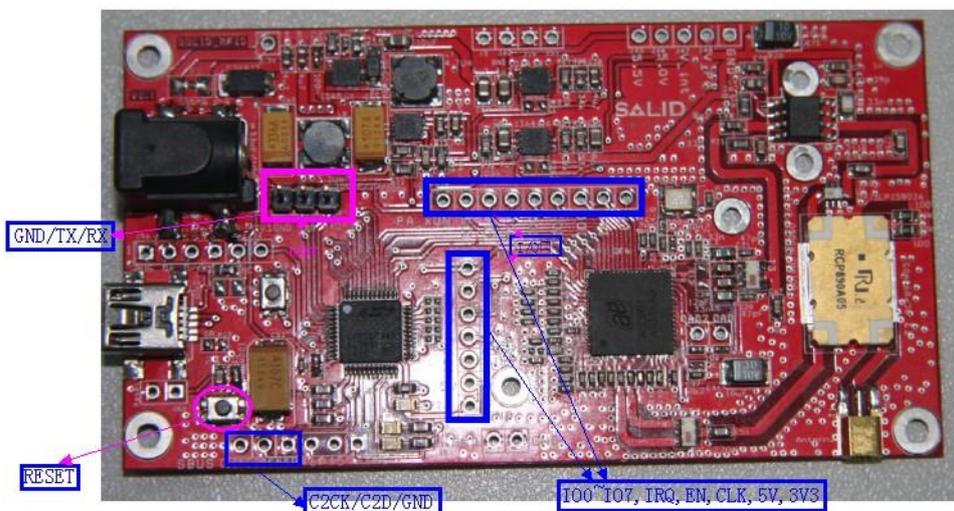
El receptor dispone de desmodulación AM y PM, permitiendo la opción de seleccionar la ganancia y el ancho de banda, para cubrir un determinado rango

de frecuencias y velocidades. También realiza la comprobación CRC y organiza los datos en bytes, siendo estos accesibles a través de un registro FIFO de 24 bits.

Especificaciones	Valores
Frecuencia de Operación	Estándar Chino (920/925 Mhz). Estándar Americano (902/928Mhz). Estándar Unión Europea (865/868 Mhz). (840~960 Mhz) Rango de trabajo general.
Protocolos Compatibles	ISO18000-6C (EPC Gen2), todo entero SO18000-6A,B, compatible en modo directo
Sensibilidad de Recepción	-86 dBm
Voltaje de Alimentación	DC 3,3 V
Consumo	2 Amperios
Potencia	1,5 W a 2 W
Potencia RF de salida	20 dBm (0,1 W)
Modulación Antena	ASK y PR-ASK
Conector Antena	MMCX
Distancia de lectura	1 a 6 metros
Interfaz soportada	USB o TTL UART
Temperatura de Trabajo	-20 a +80 °C
Código	FM0 M2-8

**Tabla 12. Especificaciones del módulo AS3992 UHF Reader**

Esta tarjeta puede comunicar con distintos componentes, como puede ser un PC o cualquier tipo de microprocesador, mediante dos tipos de interfaz, opcional y que previamente se puede solicitar según las necesidades, USB (Universal Serial Bus) o TTL UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter). En este caso al estar conectada con Arduino Mega, la versión solicitada es esta última [24].



**Ilustración 12. AS 3992 UHF RFID**

Por lo tanto el AS3992 UHF RFID Roger dispone de completas funcionalidades analógicas y digitales para operar como lector UHF, incluyendo

sección de transmisión y recepción de apoyo al protocolo EPC Gen 2 o ISO 18000-6C. El chip ejecutará los comandos de petición que le sean transmitidos desde Arduino y le enviará a este, el comando de respuesta con el informe a la solicitud realizada. Una vez efectuada su configuración, que es principalmente una adaptación del chip a las características solicitadas por el fabricante de las etiquetas, y al rango de frecuencia permitido en la zona, el dispositivo está en condiciones para comunicar con los Tags. A él está conectado la antena mediante una conexión MCM. Su alimentación es a 3 Voltios, independiente de la de Arduino que es a 9 Voltios.

### **3.2.1.2 Arduino Mega 2560 R3.**

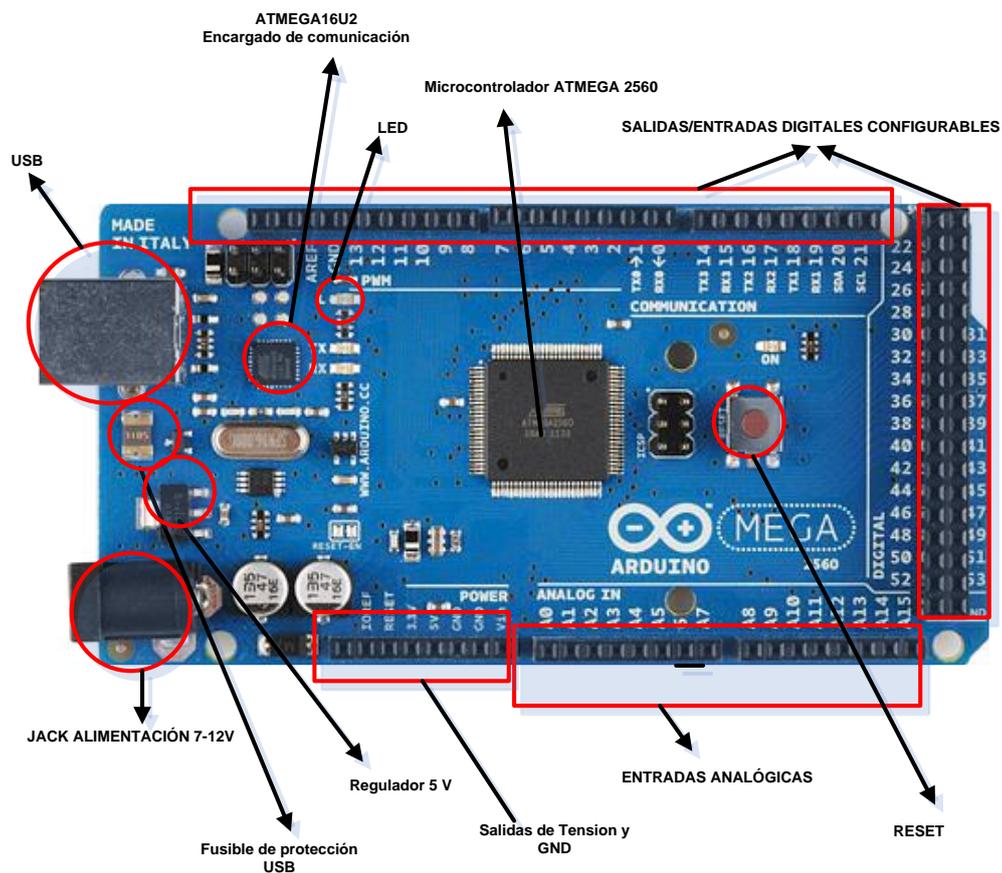
La placa Arduino Mega 2560 R3 es la elegida para interactuar con el módulo UHF RFID AS3992, principalmente por que aporta la velocidad necesaria para la comunicación (115200 bps de tasa de baudios). Se trata de una tarjeta con capacidad computacional, basada en el microcontrolador ATMEGA2560, que fue incorporado en la Revisión 3. Dispone de:

- Dispone de 54 pines que pueden funcionar como entradas o salidas digitales según se configuren por software, con las funciones PinMode(), digitalWrite (), digitalRead(). Operan a 5 Voltios y el consumo recomendado es de 20 miliamperios, aunque pueden absorber más, nunca deben superar los 40 miliamperios, ya que provocarían daños irreversibles en el microcontrolador. De todos estos pines, algunos de ellos, pueden tener funciones especializadas, como transmisión y recepción de datos serie (TX, RX), actuar como interrupción por variación de nivel, proporcionar salidas de tensión modulada PWM (Pulse-width Modulation), dar soporte a comunicación SPI (Serial Peripheral Interface), hasta incluso una, dispone de un led incorporado.
- Hay 16 entradas analógicas, útiles para sensores y transductores de distinto tipo, que proporcionan 10 bits de resolución es decir 1024 valores diferentes.
- Cuatro puertos UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) que son puertos serie por Hardware, ideales para comunicación con otros microcontroladores.
- Cristal oscilador de 16 Mhz, que utilizaremos para establecer los retardos que sean necesarios y un botón de reset.
- Distintos conectores, USB para conectar con un PC, ICSP (In-circuit Serial Programming) para programar el BootLoader con Arduino ISP.

La tarjeta viene preprogramada con un cargador de arranque (bootloader) que le permite cargar código nuevo sin usar un programador de hardware externo, aunque se podría puentear el gestor y programar a través del conector ICSP.

La alimentación puede ser, o por medio de la conexión USB, o con una fuente de alimentación externa con un rango recomendado entre 7 y 12 Voltios con valores menores se provoca inestabilidad en la placa y si son mayores pueden producir sobrecalentamiento. Puede funcionar con batería, siempre que se adapte a los valores de tensión recomendados.

La memoria del módulo esta organizada, en 256 Kb para la memoria Flash que almacena el código, de estos, 8 Kilobytes son para el gestor de arranque. A parte, dispone de 8 Kb para la SRAM (Static Random Access Memory) y 4 para la memoria EEPROM (memoria que se puede programar, borrar y reprogramar eléctricamente) [25].



**Ilustración 13. Componentes de la placa Arduino Mega 2560 R3**

### 3.2.1.3 Xbee y Shield.

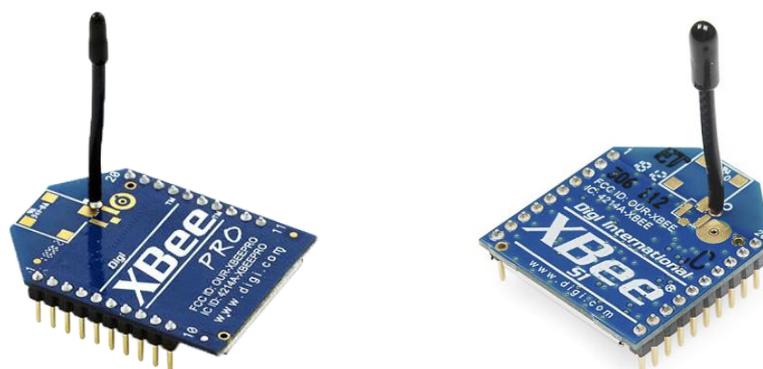
Entre el módulo UHF RFID AS3992 y Arduino habrá un fluido traspaso de datos, de carácter interno, sin embargo, para dotar al BeeReader de

comunicación externa al sistema RFID, en dirección a otros dispositivos, se emplea un módulo Xbee, del fabricante Digi, basado en el protocolo Zigbee.

Estos componentes, son básicamente, soluciones integradas que proporcionan un medio inalámbrico para la comunicación entre dispositivos, creando redes punto a multipunto o Peer-To-Peer (punto a punto), utilizando el estándar IEEE 802.15.4. Son ideales para funcionar en redes que requieran un alto tráfico de información, reducida latencia y una sincronización predecible, siendo su máxima ventaja su facilidad y simpleza de uso.

Hay dos variedades principales de módulos Xbee (según tabla 13):

- Xbee Serie 1. Se dividen a su vez en versión Regular o Standard y Pro. Esta última con mayor potencia y alcance. Su núcleo es un microchip de Freescale, que proporciona una comunicación punto a punto.
- Xbee Serie 2. También clasificados en versión Regular y Pro, disponen de un microchip de Ember Networks, que permite habilitar redes malladas basadas en Zigbee, permitiendo el acceso a puntos remotos empleando módulos intermedios con la funcionalidad de enrutado.



**Ilustración 14. Xbee de la Serie 2 Versión PRO y Xbee Serie 1 Versión Standard**

La tarjeta Shield Xbee, es una placa integrada que permite la perfecta adaptabilidad del módulo Xbee y la placa Arduino. Se monta directamente sobre él, adaptando la alimentación de 5 Voltios a una tensión de 3,3 Voltios, necesaria para el funcionamiento del Xbee, componiendo así un elemento compacto, al que proporciona capacidad de comunicación inalámbrica.

Del análisis de las especificaciones, se determina que la mejor opción a priori, para el BeeReader, es la de disponer de un modulo Xbee de la serie 2 PRO, fundamentalmente por la distancia de cobertura que ofrece. El hecho de que el Lector, este situado en un entorno hostil como es el industrial, en el interior de cámaras frigoríficas, con muchas posibilidades de interferencias y obstáculos,

obliga a disponer de un elemento con la mayor garantía de comunicación posible. Por ello y asumiendo la posible pérdida de parte de sus capacidades, sigue siendo ideal para realizar la función encomendada.

Especificaciones	Serie 1	Serie 2	Serie 2 PRO
Versión	802.15.4	Zigbee	Zigbee
Rango Interior	30 mts	40 mts	100 mts
Rango Exterior (campo libre)	100 mts	120 mts	1500 mts
Potencia de Transmisión	1mW (0 dBm)	2 mW (3 dBm)	60 mW (18 dBm) dirigido, 100 mW (20 dBm) EIRP (Potencia Radiada Isotropicamente)
Data Rate Interfaz Serial	250 Kbps	250 Kbps	250 Kbps
Sensibilidad en recepción	-92 dBm	-98 dBm	-100 dBm
Voltaje	2,8 a 3,4 Voltios	2,8 a 3,6 Voltios	2,8 a 3,6 Voltios
Corriente Transmitida	45 mA	40 mA	137 a 227 mA
Frecuencia de operación	ISM 2,4 Mhz	ISM 2,4 Mhz	ISM 2,4 Mhz
Temperatura de operación	-40 a 85 °C	-40 a 85 °C	-40 a 85 °C
Opciones de Antena	Integrada, Chip, conector ULF y RFMA	Integrada, Chip o conector ULF, y RFMA	Integrada, Chip o conector ULF, y RFMA
Topologías soportadas	Punto a Punto y Estrella	Punto a Punto, Estrella y malla	Punto a Punto, Estrella y malla
Numero de Canales	16	12	12
Necesidad de un nodo coordinador	No	Si	Si
Bajo consumo, bajo ancho de Banda, coste reducido, direccionable, estandarizado, pequeño y popular	Si	Si	Si

**Tabla 13. Especificaciones entre las distintas series de Xbee y la versión PRO de S2**

### 3.2.1.4 Antena.

Las especificaciones principales a la hora de elegir la antena para un proyecto RFID UHF son:

- El Rango de Frecuencias. Este dependerá de la zona geográfica donde se realice la aplicación del proyecto, en este momento tenemos varios rangos de operación regulados, el Europeo que abarca de 865 a 868 Mhz, Norteamericano que va desde 902 a 928 Mhz, China desde 840 a 925 Mhz y Oceanía desde 918 a 926 Mhz. Por lo tanto, en España, zona de aplicación de este Trabajo se debe cumplir la normativa de regulación Europea ETSI (European Telecommunications Standards Institute) para rangos de operación de dispositivos UHF RFID.
- Ganancia y Anchura de Haz, son dos componentes eléctricos de la antena, que están directamente relacionados entre sí, a mayor ganancia de antena menor arco de iluminación del haz. Si la ganancia es alta vamos a lograr distancias mas largas de lectura, pero la zona cubierta es mas estrecha. En el caso de aplicación en recintos refrigerados, cámaras frigoríficas industriales o cajas

refrigeradas de camiones con medidas que oscilaran entre los 5 ó 12 metros máximo de longitud y con alturas de 3 a 8 metros, se valoraran dos tipos, una de tamaño medio de 9 dBic (ganancia circular) con una apertura de 65% en planos horizontal y vertical y otra de 11 dBic con 65% en plano vertical y 30% en plano horizontal. Con distancias mayores o áreas de distribución complejas se aumentaría el número de antenas.

- **Polarización.** En la mayoría de las antenas UHF RFID la polarización es lineal o circular. La primera envía las señales de radio frecuencia en el mismo plano, o bien vertical o bien horizontal, mientras que la segunda las emite haciendo un movimiento circular, pudiendo abarcar los dos planos al mismo tiempo. Puede ser de dos tipos, polarización a derechas antihorario, o a izquierdas sentido horario, visto alejándose del emisor. En este caso es recomendable emplear una antena con polarización circular ya que la colocación de los Tags puede ser imprevisible con distintas alturas y situación, siendo indiferente si es a izquierdas o a derechas.



**Ilustración 15. Antenas modelo ISC.ANTU270/270 y ISC.ANTU600/270 de FQ Ingeniería**

En la Ilustración 15 se puede ver los dos modelos recomendables para este trabajo final, como se puede observar en las especificaciones de la tabla 14, las dos cumplen los requisitos necesarios para estar en recintos refrigerados. Aunque son dispositivos voluminosos y pesados, si se colocan soportados en el techo del recinto, dispondremos de un ángulo perfecto para la lectura de las etiquetas, si las dimensiones del frigorífico fuesen excesivas para garantizar una lectura adecuada, deberíamos aumentar el numero de lectores para dar cobertura total a todas las etiquetas [27].

Especificaciones	ISC.ANTU270/270	ISC.ANTU600/270
Frecuencia de Operación	865 a 870 Mhz	865 a 870 Mhz
Ganancia	9 dBic	11 dBic
Apertura haz a 3 dB	65° Plano vertical y horizontal	65° Plano vertical y 30° horizontal
Polarización	Circular	Circular
VSWR	< 1,3:1	< 1,3:1
Temperatura de Trabajo	-25 a 55 °C	-25 a 55 °C
Protección	IP65	IP65
Peso	1,2 Kgs	2,2 Kgs
Dimensiones	27,3*27,3*5,8 cms	58,7*27,3*5,8 cms

**Tabla 14. Especificaciones de las dos antenas a considerar para el proyecto**

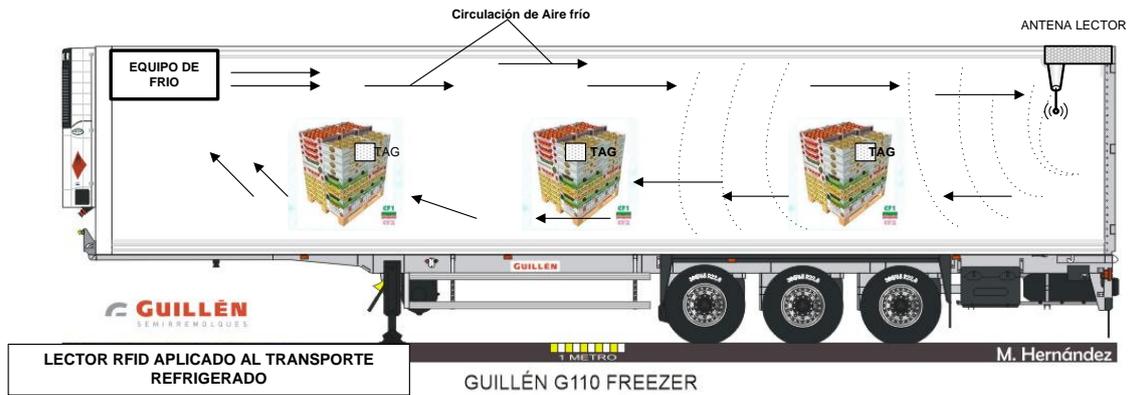


Ilustración 16. Sistema BeeReader en caja refrigerada

### 3.2.1.5 Display LCD.

Con el fin de poder observar el funcionamiento del Lector, controlar los errores, y ver los resultados obtenidos se decide dotar al dispositivo de un display LCD (Liquid Crystal Display), del fabricante SunFounder. Se trata de una pantalla de 4 filas y 20 columnas, alimentado a 5 voltios y con interfaz I2C, ideal para acoplar al Arduino Mega. Con este elemento visual podremos observar las distintas fases que atraviesa el Lector, encendido de la antena, inventario, selección, lectura y otros, además de mostrar al final todos los Tags encontrados y la última temperatura registrada, mas información sobre este display en [28].

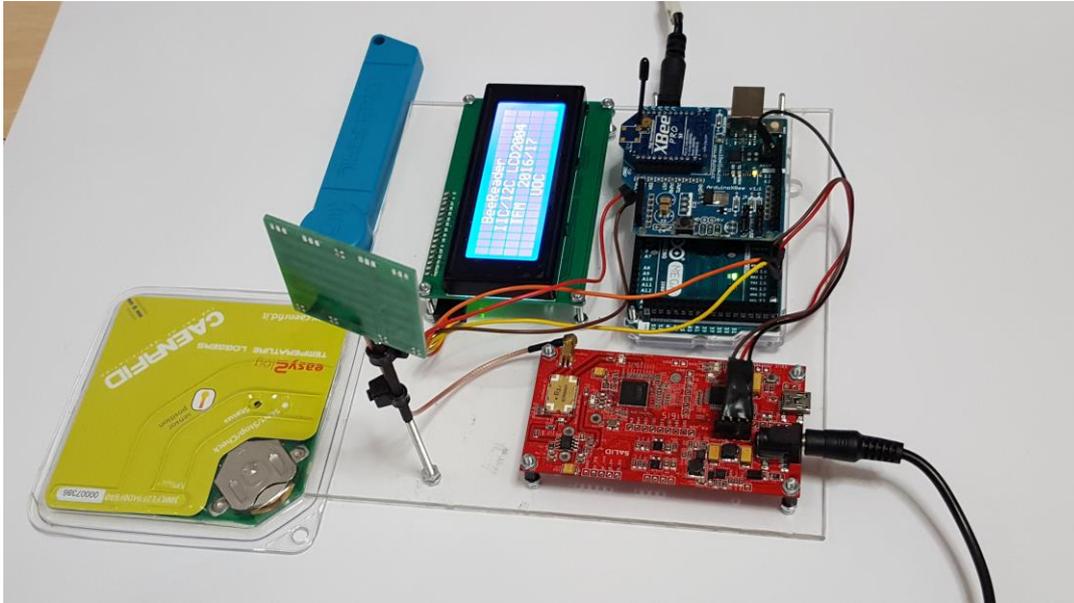


Ilustración 17. Display LCD para BeeReader

### 3.2.2 Conexionado y funcionamiento de BeeReader UHF RFID.

El dispositivo BeeReader ensamblado y funcional está compuesto por los elementos hardware y software anteriormente descritos, en la Ilustración 25 se

puede ver el prototipo base, junto con las dos etiquetas elegidas para este proyecto. La antena del prototipo es de solo 5dBi, para pruebas en corto alcance, el prototipo final dispondrá de una antena de mayor ganancia que permitirá cubrir las distancias máximas recomendadas.



**Ilustración 18. Prototipo BeeReader UHF RFID.**

El cableado entre los pines de los elementos que componen el Lector se especifican en detalle en la tabla 15, como se puede observar, para el display se emplea una comunicación I2C, disminuyendo de forma considerable el cableado del prototipo y con el AS3992 Roger la comunicación es Serial.

Arduino Mega	Display LCD	AS3992 ROGER
18		TX
19		RX
GND		GND
21	SCL	
20	SDA	
5V	VCC	
GND	GND	

**Tabla 15. Conexionado de pines entre componentes del Lector BeeReader**

El Arduino Mega 2560 es la parte central del sistema lector y el responsable de ejecutar el Sketch o programa principal del dispositivo. El lector dispone de dos modos de ejecución o trabajo:

- **Modo Manual.** Se emplea para grabar, en combinación con una aplicación de escritorio para puerto Serial (XCTU, Monitor Serial u otra), los datos de usuario que necesitamos que los Tags transmitan al sistema. También es útil para realizar pruebas, tanto en la configuración del sistema Lector, como para leer o escribir datos en las etiquetas, activando algunas funcionalidades o realizando algunas

configuraciones, como pueden ser variaciones de tiempos de muestreo, activaciones de alarmas etc. Los Tags, deben llevar grabados los **datos de referencia del producto** al que acompañan. [33]. En una primera versión ampliable en el futuro, estos datos ocuparán las seis primeras posiciones de la memoria de usuario, siendo una serie de códigos de dos bytes en formato hexadecimal, basados en los datos del producto, empleados en cálculos de proyecto frigorífico y ordenados de la siguiente forma [34]:

1. Un código numérico de identificación de producto. De esta forma conoceremos de forma inmediata que producto estamos refrigerando o congelando.
2. La temperatura ideal de consigna para la conservación del producto, establecido según valores de proyecto frigorífico.
3. Punto de congelación del alimento. Se trata de la temperatura a la que el alimento comienza a congelarse, en conservación de alimentos, nos interesa acercarnos a este punto, pero nunca alcanzarlo o superarlo. En congelación debemos superarlo con creces para alcanzar nuestros objetivos.
4. Valor ideal de humedad en productos frescos.
5. La cantidad en hexadecimal de kilos de producto que contiene el palet en el que se encuentra la Etiqueta.
6. La densidad de almacenaje del producto, en kilos por metro cúbico, imprescindible para el cálculo de la consigna por producto.

Todos estos datos recopilados, son datos básicos empleados en proyectos de cálculo de instalaciones frigoríficas y una muestra figurará en un anexo de este Trabajo Final de Master.

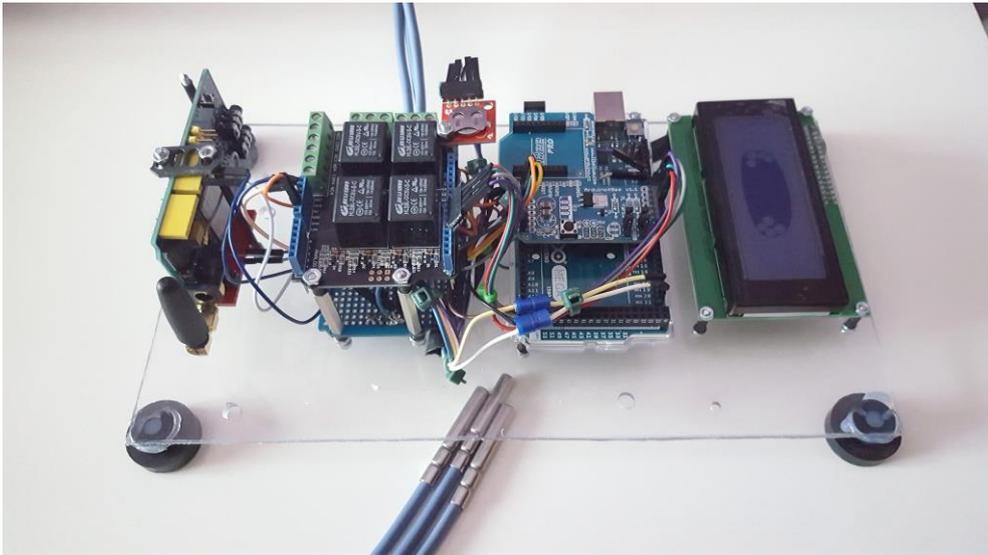
- Modo Automático se activará cuando el BeeReader reciba el carácter “@”, clave que inicia el proceso, primero con una ronda de inventariado de los Tags de la zona, seguido de la selección una a una de las Etiquetas, leyendo el ultimo valor de temperatura registrado, así como todos los datos de referencia del producto. En el display iremos recibiendo información de los distintos pasos y al final mostraremos el número de etiquetas encontradas y la temperatura de cada uno de los Tags. El carácter clave es enviado de forma inalámbrica por el dispositivo de control frigorífico (BeeCold), como mas adelante detallaremos, utilizando protocolo Zigbee y con una cadencia de tiempo determinada. La respuesta por parte del sistema lector será un paquete de datos, encabezado con la palabra clave, el número de Etiquetas encontradas, la temperatura del primer Tag seguido de sus datos de referencia, seguido de la temperatura del segundo Tag, sus datos de referencia y así sucesivamente hasta transmitir todos los Tags leídos.

### **3.2.3 Hardware del Controlador de Servicio Frigorífico BeeCold.**

El dispositivo BeeCold es el encargado de gestionar el funcionamiento del servicio frigorífico al cual estará conectado y sobre él que asume la

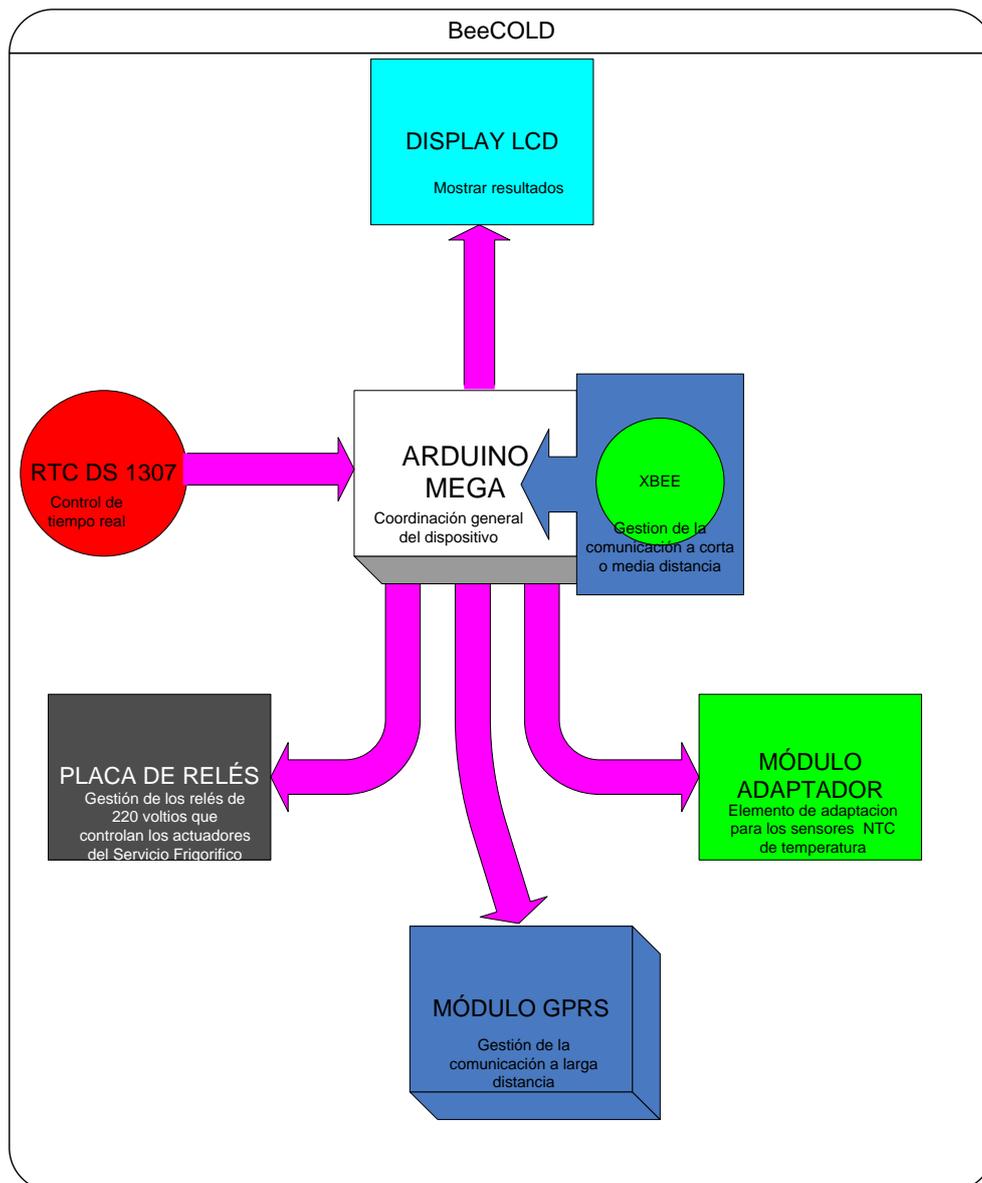
responsabilidad de controlar sus actuadores principales, ventiladores, electroválvulas de refrigeración y resistencias de descongelación. Sus principales componentes, en su última versión, son:

- Arduino Mega 2560.
- Placa Shield Xbee y modulo Xbee Pro.
- Placa de Relés de control.
- Módulo de Adaptación para sensores.
- Modulo GPRS Shield.
- Modulo RTC DS1307.
- Display LCD Sunfounder 2004A



**Ilustración 19. Prototipo de Control de Frío, BeeCold**

El sistema es alimentado con una fuente de alimentación de 9 V conectada al Arduino Mega, que es el nexo de unión del dispositivo, desde él, proporcionamos 5 Voltios y GND al resto de los componentes. Incorpora dos formas de comunicación inalámbrica, la que proporciona el Xbee para el envío y recepción de datos con el Lector BeeReader, además de comunicación GPRS para envío de datos a larga distancia. Esta última opción se añadió con la idea de emplear el mismo elemento de control, tanto en una cámara frigorífica como en un recinto refrigerado móvil, sin la necesidad de disponer de dos dispositivos distintos, sino un único modelo con doble prestación. Aunque con el Arduino se podría implementar una función de reloj interna, se ha decidido disponer de un RTC externo y con batería tipo botón. La Ilustración 20 muestra las funciones que realiza el Lector así como los flujos de comunicación y la relaciones entre los distintos componentes del Prototipo.



**Ilustración 20. Diagrama de Bloques del Prototipo BeeCold**

### **3.2.3.1 Componentes del Hardware de BeeCold.**

Muchos de los componentes de BeeCold son idénticos a los empleados en el ensamblado del BeeReader, el mismo modelo de pantalla cristal líquido, ante la magnífica visibilidad que aporta al prototipo, idéntico centro de mando, el Arduino Mega, por su gran capacidad y disponibilidad de puertos Serie, así como el elemento para comunicación Zigbee (Shield y Xbee). Como todos ellos ya han sido analizados en los componentes Hardware del prototipo Lector, los omitiremos en este apartado, analizando únicamente aquellos que resultan novedosos en el proyecto



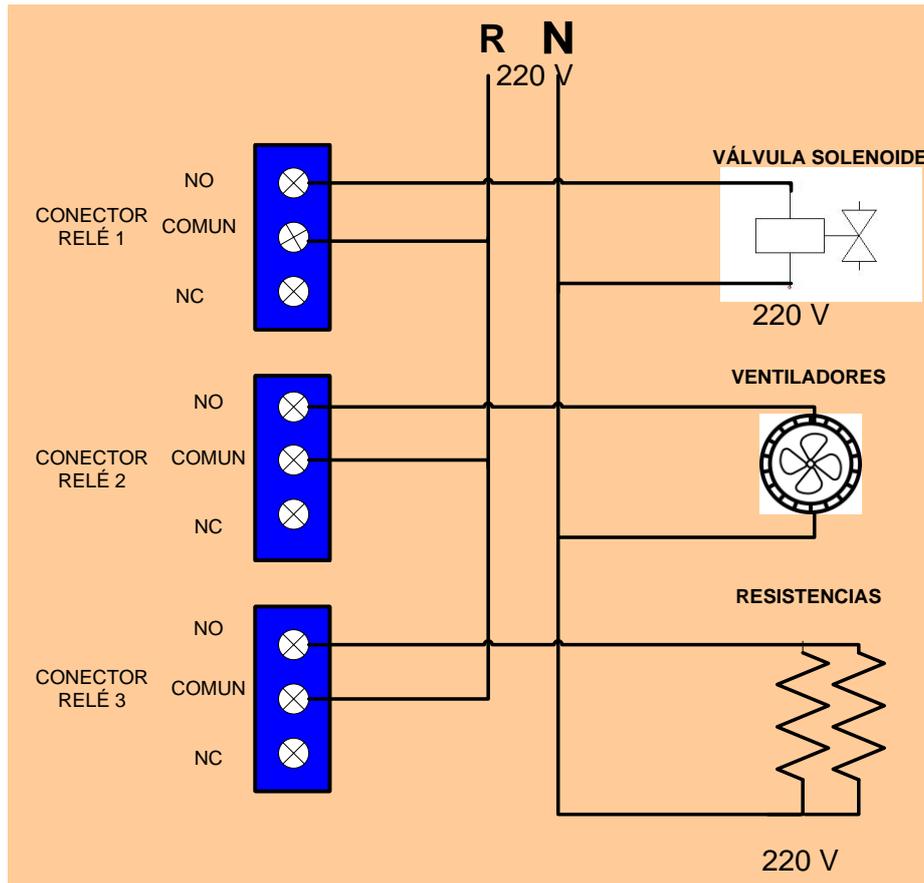


Ilustración 22. Esquema eléctrico Placa de Relés y Actuadores de Servicio

### 3.2.3.3 Modulo Adaptador de Sensores.

Los sensores empleados en el prototipo son de la marca Elliwell, modelo SN8S0A1500 NTC en tubo de Acero [37]. Se trata de sondas de temperatura de tipo NTC, coeficiente de temperatura negativo, en las cuales cuando aumenta la temperatura disminuye la resistencia. Su rango de medida es entre -50 y 120 grados, con un coeficiente Beta de 3435 y una resistencia a 25 grados centígrados de 10K Ohmios. Para adaptar la señal analógica del sensor a unos valores de entre 0 a 5 voltios, máximo valor permitido en las entradas analógicas del Arduino, debemos diseñar un divisor de tensión que acomode los resultados a estos rangos de voltaje. Los valores de resistencia del sensor NTC con respecto a la temperatura medida son calculados con la ecuación característica de este tipo de termistores [38]:

$$R_{ntc_{Temperatura}} = R_{25^{\circ}} * e^{B * \left( \frac{1}{T+273.5} - \frac{1}{25+273.5} \right)}$$

Siendo,

$$R_{25^{\circ}} = 10000\Omega$$

$$B = 3435$$

$T = \text{temperatura\_en\_grados\_centigrados}$

$$V_{OUT} = \frac{R_{FIJA}}{R_{NTC} * R_{FIJA}} * V_{IN}$$

Para;

$$V_{IN} = 5V$$

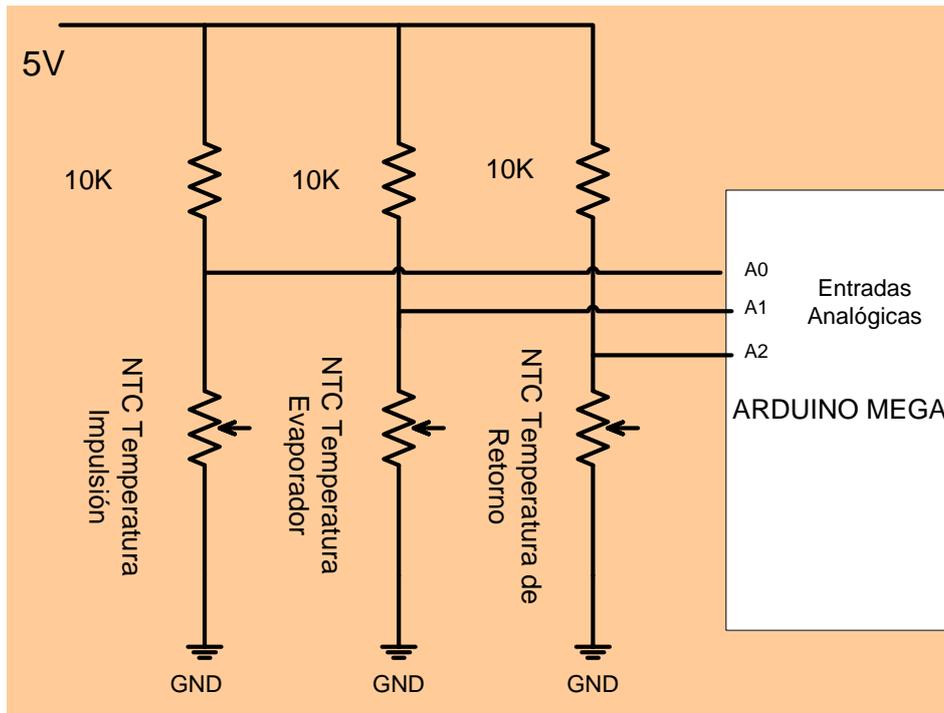
$$R_{FIJA} = 10000\Omega$$

En la tabla 16 podemos observar los distintos valores calculados de resistencia y voltaje que nos proporciona el sensor en relación con la temperatura a la que se encuentre sometido.

<b>Temperaturas(°C)</b>	<b>Resistencia sensor (Ohmios)</b>	<b>Voltaje de Salida [Vout] (Voltios)</b>
120	617,9	4,71
40	5758,7	3,17
35	6880,6	2,96
30	8269,4	2,73
25	10000	2,5
20	12171,4	2,25
15	14915,6	2
10	18410,4	1,76
5	22896,6	1,52
0	28704,3	1,29
-5	36289,6	1,08
-10	46290,2	0,89
-15	59605,98	0,71
-20	77522,55	0,57
-25	101898	0,44
-30	135452,45	0,34
-50	480473,4	0,1

**Tabla 16. Relación entre valores de Temperatura, Resistencia y Voltaje de los sensores NTC**

El circuito de Adaptación para los tres sensores modelado en una placa electrónica sigue el esquema representado en la Ilustración 33. Los tres sensores del dispositivo están conectados en las tres primeras entradas analógicas del Arduino Mega y GND, siguiendo el orden establecido, para el Sensor de Temperatura de Impulsión le corresponde la entrada Analógica A0, la temperatura de Evaporación estará conectada en el terminal A1 y la temperatura de Retorno de Aire en el PIN A2.



**Ilustración 23. Circuito de Adaptación para los sensores NTC**

### 3.2.3.4 Módulo GSM/GPRS SIM 900.

Es una tarjeta ultracompacta basada en el modulo SIM 900 para comunicación inalámbrica, que permite la utilización de la red GSM de telefonía celular para enviar datos a larga distancia y baja velocidad [39]. Esta tarjeta nos permite enviar mensajes, realizar o recibir llamadas, incluso conectarnos a Internet, ofrece al Sistema BeeCold la funcionalidad de un teléfono móvil, aunque en este caso solo se empleará por el momento, para enviar a través de la red celular mensajes cortos, fundamentalmente de datos de funcionamiento del Sistema. Este módulo es configurado por vía UART empleando comandos AT que serán enviados desde el Arduino Mega a una velocidad obligatoria de 19200 bps.

Sus características técnicas más importantes son [40]:

- Modulo SIM 900.
- Quad-band 850/900/1800/1900 Mhz. Podría por lo tanto funcionar en redes GSM de todo el mundo.
- GPRS multi-slot clase 10/8.
- GPRS estación móvil clase B.
- Clase 4 (2 W a 850/900 MHz)
- Clase 1 (1 W a 1800 / 1900MHz)
- Control mediante comandos AT. Comandos estándar: GSM 07.07 y 07.05. Comandos mejorados y Comandos de SIMCOM AT.
- Servicio de mensajes cortos, se pueden enviar pequeñas cantidades de datos a través de la red (sea en ASCII o Hexadecimal).
- Pila TCP / UDP incorporada, esto le permite cargar datos a un servidor Web.

- Conectores de altavoz y auriculares - para que pueda enviar señales DTMF o reproducir música.
- Soporte de tarjeta SIM (la antigua, no soporta micro ni nano SIM, necesita adaptador) y antena GSM.
- 12 GPIO, 2 PWM y un ADC.
- Bajo consumo de energía, solo 1.5mA (modo de reposo)
- Rango de temperatura industrial (-40 ° C a +85 ° C).



**Ilustración 24. Tarjeta GPRS Shield SIM 900**

La tarjeta está conectada al Arduino Mega del cual recibe la alimentación de 5 Voltios necesarios para su funcionamiento, aunque también tiene la posibilidad de ser alimentado de forma independiente, a través de su conector Jack.

Uno de los aspectos a destacar es su funcionamiento a través de comandos AT, estos componen un lenguaje especial para comunicaciones con los Módems donde se separan órdenes de datos. En un principio se denominaban comandos Hayes e iban incorporados en los Módems de este fabricante, hasta extenderse su aplicación y acabar denominándose AT, porque tienen la misma estructura, empiezan con “ATention” y terminan con un retorno de carro. El listado de comandos es bastante extenso y suele variar de unos terminales a otros, aunque hay un porcentaje elevado de órdenes que son comunes [41].

### **3.2.3.5 Reloj de Tiempo Real DS1307.**

El DS1307 es una pequeña tarjeta de baja potencia, que realiza la función de reloj de tiempo real, proporcionándonos además de horas, minutos y segundos, un calendario completo hasta final de siglo. Dispone de batería auxiliar, por lo que en cuanto su sensor de tensión detecta un fallo de energía, conmuta de fuente de alimentación. Una de sus ventajas es la de soportar interfaz serie I2C que permite por ejemplo que en este sistema, el reloj y el LCD compartan el mismo bus de comunicaciones [42].

Sus características más relevantes son:

- Reloj de tiempo real, cuenta horas, minutos, segundos, días, meses y años, reconociendo incluso los años bisiestos.
- Memoria no volátil de 56 bytes de RAM para almacenamiento de datos.
- Interfaz Serie I2C, de dos hilos SCL y SCA.
- Onda cuadrada programable de la señal de salida.
- Sensor automático de fallo de energía y circuito de conmutación.
- Consumo menor a 500nA en la batería.

Uno de los mayores problemas que tiene es que atrasa con bastante facilidad, siendo recomendado un modelo mayor de mejor calidad.

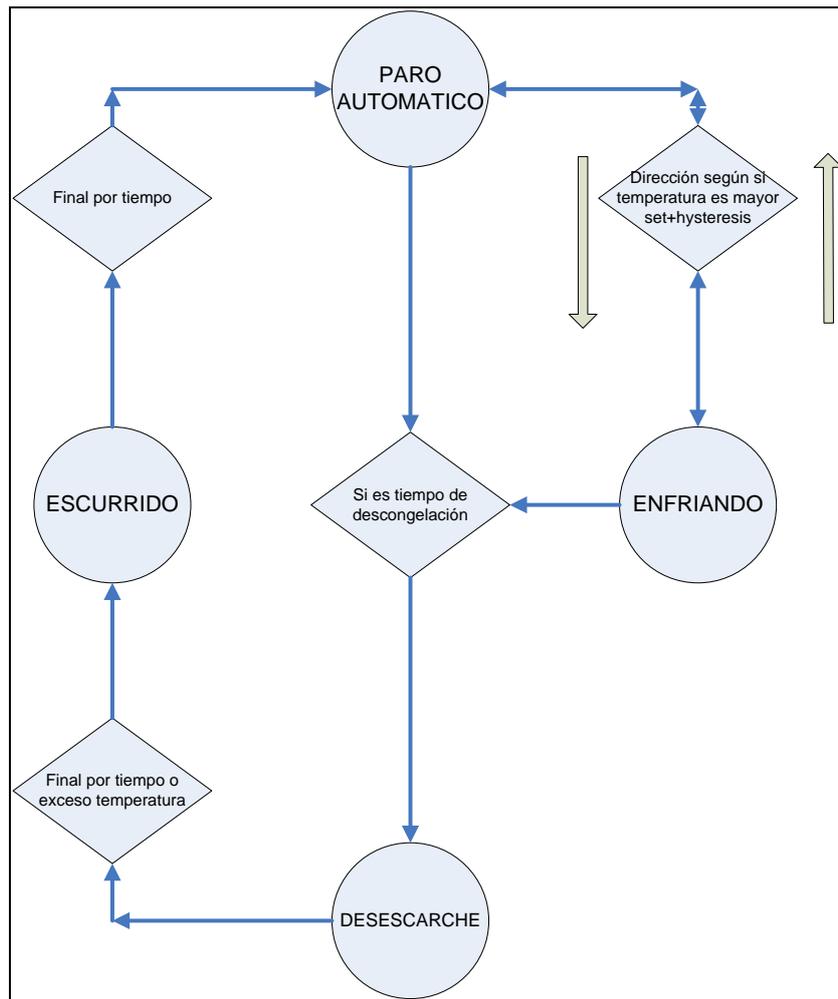
### 3.2.4 Conexión y funcionamiento del Controlador BeeCold.

Las conexiones entre pines de los distintos componentes que conforman el subsistema de control de frío están establecidas en la tabla 17, para disminuir el cableado se han incorporado elementos con comunicación I2C como el reloj y la pantalla, con respecto a una versión inicial más compacta pero demasiado compleja. El Arduino Mega recibirá la alimentación a 9 Voltios y desde sus pines de salida de 5 Voltios y GND (Tierra), alimentamos el resto de componentes.

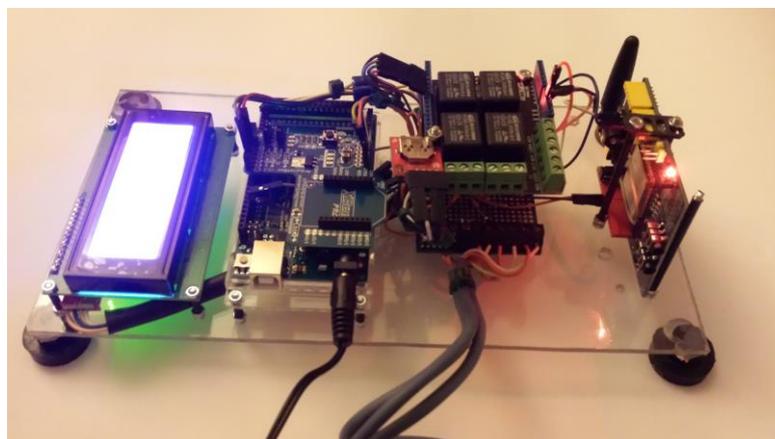
Arduino Mega	Display LCD	RTC	Módulo Relés	Adaptador Sensores	Modulo GSM
5V	VCC	5V	5V	5V	5V
GND	GND	GND	GND	GND	GND
GND					
21	SCL	SCL			
20	SDA	SDA			
4			4		
5			5		
6			6		
7			7		
10					7
11					8
A0				1	
A1				2	
A2				3	

**Tabla 17. Conexión de pines entre componentes BeeCold**

La función principal del dispositivo es el control completo de un servicio frigorífico, gestionando la actividad de los distintos elementos que la componen para conseguir mantener la temperatura de la cámara frigorífica entre unos valores determinados, que además se actualizarán de forma automática dependiendo del producto que entre o salga del recinto, sin que para ello requiera la presencia de un operador.



**Ilustración 25. Fases de control de servicio frigorífico**



**Ilustración 26. Controlador para Servicio de Frío BeeCold**

Las distintas funcionalidades que realiza el dispositivo y como las desarrolla, son las siguientes:

■ **Controlador de Frío.** El gobierno de los principales actuadores de un Servicio de Frigorífico, lo ejecuta en función del desplazamiento por cuatro fases o estados, realizando en cada una de ellas unas determinadas acciones. En la ilustración 25 se observan esas etapas y las decisiones que provocan su desplazamiento de una a otra. En cada una se toman decisiones activando o desactivando las salidas correspondientes:

- 1) **Paro Automático.** Corte de la producción de frío por paro de la electroválvula de frío, los ventiladores se inhabilitarán según opciones programadas, donde entran en liza otros parámetros configurados.
- 2) **Enfriamiento.** Arranque de la producción de frío, activando electroválvula y ventiladores.
- 3) **Descongelación o Desescarche.** Primero se ejecuta la detención de la producción de frío y ventiladores para posteriormente efectuar el habilitado de las resistencias de calentamiento del evaporador. Una vez terminado, por tiempo o por temperatura, se pasa a la fase de escurrido o drenaje.
- 4) **Drenaje.** Paro de Resistencias y demás elementos, se realiza un tiempo de espera determinado, antes de proceder al arranque.

■ **Gestor de Comunicaciones.** El dispositivo mantiene varias líneas de comunicaciones con los siguientes flujos como se pueden observar en la Ilustración 27:

- 1) **Envío.** En cuanto a la transmisión de datos, envía la clave de inicio de la ronda de inventario al Lector de Etiquetas, de forma periódica, en estos momentos cada dos minutos y treinta segundos, siendo esto ajustable. También transmite datos de forma periódica a la Aplicación, cada minuto, simplemente para ver la evolución del Servicio de Frío y actualizar datos.
- 2) **Recepción.** Recibe datos por dos vías, desde la Interfaz, parámetros de programación del controlador y desde el Lector información de los inventarios del producto. Cada paquete de datos es fácilmente identificable por su carácter de cabecera.
- 3) **Mensajería instantánea.** Envío de mensajes periódicos a teléfonos móviles predeterminados, con envío de alarmas e información variada.

■ **Controlador horario.** Establecimiento de los eventos horarios que se deseen. En estos momentos solo hay los correspondientes a periodos de muestreo y horarios de deshielo, pero puede ser ampliable a paros nocturnos o ahorros energéticos por tarifas horarias.

En el futuro, se intentará aumentar el número de funcionalidades, entre ellas la de convertirse en un puente de datos para una base de datos en MySQL.

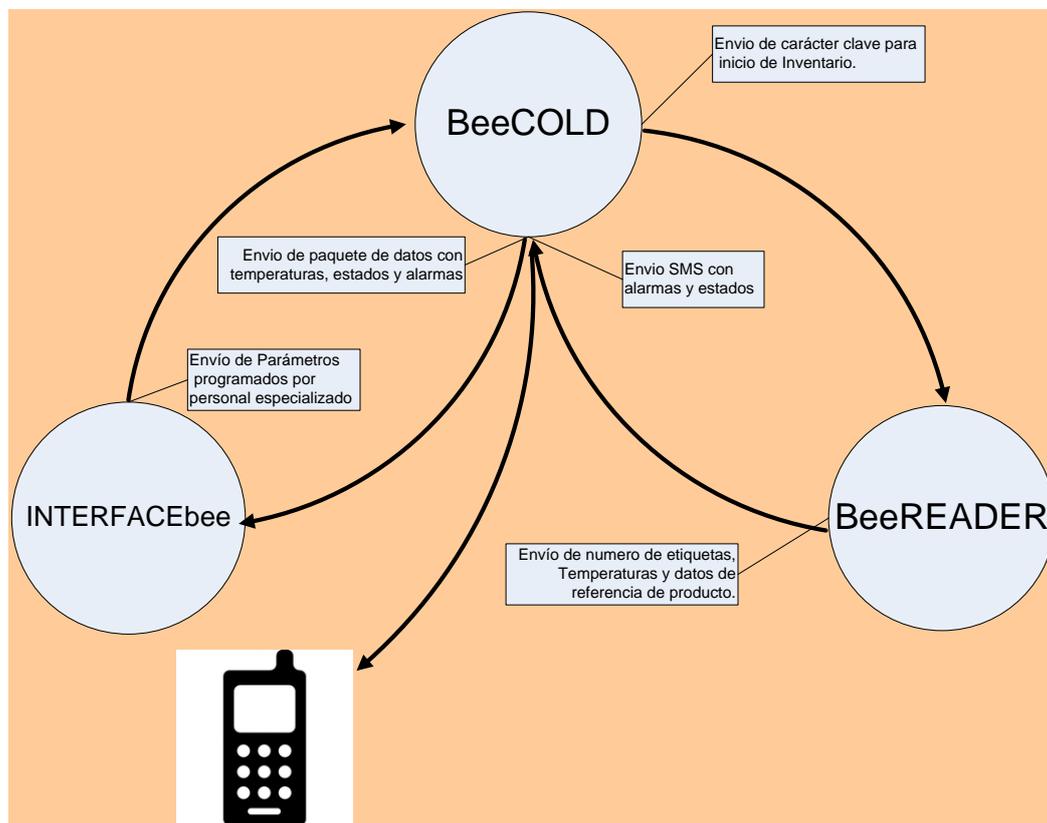


Ilustración 27. Flujo de datos en el Sistema.

### 3.3 Software del Sistema.

#### 3.3.1 Software de BeeReader.

El software de BeeReader, que controla todo el sistema, consiste en un programa de Arduino (Sketch), fichero con extensión “punto ino”, que dispone de la estructura y funciones necesarias para coordinar todo el componente hardware del dispositivo [31].

El programa que controla el dispositivo está compuesto, de las siguientes partes:

- Librerías y variables. En esta zona tenemos todas las librerías y variables globales del sistema, dentro de estas variables tenemos un listado completo de comandos para enviar al AS3992 Roger, algunos utilizados solo para su configuración y otros para ser enviados directamente a las etiquetas. Cada uno de estos comandos se puede activar con una palabra clave (key) desde cualquier aplicación Serial (modo manual) ó desde el propio programa (modo automático). El primer modo es para realizar pruebas o grabar datos de usuario en las

etiquetas, mientras que el segundo es para que el dispositivo realice de forma automática su rutina, consistente en ronda de inventario, selección y lectura. En un apartado posterior se explicará la estructura y composición de los comandos básicos.

```

unsigned char SCMDa[] = {0x1C,0x03,0x00}; //Read register Status Control
unsigned char SCMDb[] = {0x1C,0x03,0x01}; //Read register Protocol Control0x58,0x46,0x81,0x1B
unsigned char SCMDc[] = {0x1C,0x03,0x02}; //Read register TX Options
unsigned char SCMDd[] = {0x1C,0x03,0x03}; //Read register RX Options
unsigned char SCMDe[] = {0x1C,0x03,0x04}; //Read register TRCal Low register
unsigned char SCMDf[] = {0x1C,0x03,0x05}; //Read register TRCal High register
unsigned char SCMDg[] = {0x1C,0x03,0x15}; //Read register Modulator control

unsigned char SCMDp[] = {0x59,0x0E,0x01,0x00,0x01,0x00,0x01,0x00,0x01,0x01,0x01,0x01,0x05,0x01,0xB9}; //SET GEN paramet
unsigned char SCMDq[] = {0x1A,0x04,0x00,0x40}; //SET REGISTER mode direct status control
unsigned char SCMDo[] = {0x1A,0x06,0x15,0x20,0x3F,0x17}; //SET register Modulator control

unsigned char SCMDr[] = {0x1A,0x04,0x01,0x0A}; //SET REGISTER protocol control
unsigned char SCMDs[] = {0x1A,0x04,0x02,0xFC}; //SET REGISTER RX

```

**Ilustración 28. Relación de comandos básicos para el AS3992 Roger**

- **Void Setup.** Se trata de una función especial que se ejecuta una sola vez y realiza la configuración previa del dispositivo. En ella inicializamos el display LCD y la comunicación Serial, en este caso hay dos, la exterior a otros dispositivos a través de Xbee (9600 baudios por segundo) y la interna con el AS3992 (115200 bps). Después realizamos la configuración previa del lector, consistente en el envío de los comandos correspondientes, primero el encendido de la Antena, la configuración del registro del AS3992 (TRcal register), la frecuencia de trabajo, en este caso la europea (867,5 Mhz) y por último los parámetros de compatibilidad con los Tags solicitados por el fabricante (link frequency, codificación Miller de tipo FM0 etc.)

```

lcd.init(); //initialize the lcd
lcd.backlight(); //open the backlight // Print a message to the LCD.
lcd.setCursor ( 0, 0 ); // go to the top left corner
lcd.print(" BeeReader "); // write this string on the top row
lcd.setCursor ( 0, 1 ); // go to the 2nd row
lcd.print(" IIC/I2C LCD2004 "); // pad string with spaces for centering
lcd.setCursor ( 0, 2 ); // go to the third row
lcd.print(" TFM 2016/17 "); // pad with spaces for centering
lcd.setCursor ( 0, 3 ); // go to the fourth row
lcd.print(" UOC ");
delay (4000);

//Initialize communication
Serial.begin(9600); // with BeeCold
Serial1.begin(115200); // with AS9392

// Initial configuration sequence for AS9392 ROGER
Serial1.write(SCMD3,3); //the command for antenna on
delay (500);
scanRegister();
Serial1.write(SCMDv,4); //SET REGISTER
delay (200);
Serial1.write(SCMDw,8); //SET frequency
delay (200);
Serial1.write(SCMDp,14); //SET GEN parametrs, link frequency(40 Khz), miller (FM0), session, trest, qbegin, sensitivity (-71 dbm)
delay (200);
scanRegister();

```

**Ilustración 29. Configuración inicial del Lector.**

- **Void Loop.** Es la función núcleo que se ejecuta de forma recurrente, contiene el código principal del Arduino, se trata de un bucle ejecutándose continuamente, leyendo entradas y activando o desactivando salidas [32]. En el caso de recibir la key "@" se ejecutará

de forma automática una rutina, como se puede intuir en la ilustración 30, que consiste en un inventariado de todos los Tags de la área bajo control y la posterior selección y lectura de cada uno de ellos, recopilando los datos de interés para el sistema. Ante la necesidad de disponer de un método para configurar o grabar datos de producto en las etiquetas, se habilita el definido como modo manual, para que desde cualquier aplicación Serial (XCTU o Monitor Serial) se puedan enviar las palabras claves de los comandos y de esta forma leer, escribir o configurar las etiquetas a nuestro gusto, añadiéndole o modificando el registro de usuario, así como activando las funciones especiales que nos proporcionan estos Tags. En el futuro se realizará desde la propia interfaz del Sistema.

```
void loop()
{
  while(Serial.available() > 0) {
    incomingByte = Serial.read();
    if(incomingByte=='0'){
      // Communication received from ColdBee.The ColdBee device sends the key to start a new round
      while ( counter < 4){
        counter++;
        // Repeat the inventory for a defined number of times
        if(tag_found_number==0){
          //Serial.println("numero Comandos inventory");
          commandInventory();
          delay (1000);
          scanRegister();
          delay (1000);
          // Waiting time required
        }
      }
    }
  }
}
```

**Ilustración 30. Rutina automática, inventario, selección y lectura de etiquetas.**

```
// Method for data programming and testing in the AS3992 Roger.
// from serial port, with Serial Monitor or XCTU.

if (incomingByte=='0'){Serial1.write(SCMD,3);Serial.print("OK 0 ");}
if (incomingByte=='1'){Serial1.write(SCMD1,3);Serial.print("OK 1");}
if (incomingByte=='2'){Serial1.write(SCMD2,3);antenna=false;Serial.print("OK 2 ");}
if (incomingByte=='3'){Serial1.write(SCMD3,3);antenna=true;Serial.print("OK 3");}
if (incomingByte=='4'){Serial1.write(SCMD4,15);Serial.print("OK 4");}
if (incomingByte=='5'){Serial1.write(SCMD5,15);Serial.print("OK 5");}
if (incomingByte=='6'){Serial1.write(SCMD6,10);Serial.print("OK 6");}
if (incomingByte=='7'){Serial1.write(SCMD7,10);Serial.print("OK 7");}
if (incomingByte=='8'){Serial1.write(SCMD8,64);Serial.print("OK 8");}
if (incomingByte=='9'){Serial1.write(SCMD9,64);Serial.print("OK 9");}
```

**Ilustración 31. Control manual mediante carácter clave desde un programa Serial.**

- **Funciones.** Son los procedimientos, subrutinas o llamadas, con un desempeño determinado y específico. En este programa disponemos de funciones para descifrar los datos enviados del AS3992, activar los distintos mensajes del display, realizar un inventario, efectuar la selección y lectura, una a una de las etiquetas, realizar el envío de datos a BeeCold ó para llevar a cabo la conversión de temperatura. Esto es debido a que los Tags de CAEN, efectúan una lectura propia de la temperatura en formato hexadecimal, curiosamente cada uno de ellos con un método distinto, lo que ha obligado a la necesidad de implementar una función que realizase la traducción de esos valores.

En la Ilustración 32 se puede observar la implementación de la función que lanza los mensajes por pantalla

```
//This void function is for displaying data on the screen
//Depending on the value of the variable, we will see different messages on the screen

void dataDisplay(int dataDis){

    delay(1000);
    if(dataDis==1){
        if(antenna ==true){
            lcd.clear();lcd.setCursor(0, 3);lcd.print("Antenna ON ");
        }else{lcd.clear(); lcd.setCursor(0, 3);lcd.print(" Antenna OFF "); }
    }
    if(dataDis==2){
        lcd.clear(); lcd.setCursor(0, 0);lcd.print("Inventory Response ");
        lcd.setCursor(0, 1);lcd.print(" Total Tags "); lcd.setCursor(14, 1);lcd.print(tag_found_number, DEC);
    }
    if(dataDis==3){
        lcd.clear(); lcd.setCursor(0, 0);lcd.print(" Error read data ");
    }
    if(dataDis==4){
        lcd.clear(); lcd.setCursor(0, 0);lcd.print(" Not Select ");
    }
    if(dataDis==5){
        lcd.clear(); lcd.setCursor(0, 0);lcd.print(" Select Completed ");
    }
}
```

**Ilustración 32. Función para mostrar mensajes en el display LCD.**

### 3.3.2 Comandos de Comunicación en BeeReader.

Una de las partes más importantes del Sistema lector es la gestión y uso de los comandos de comunicación entre el petionario Arduino Mega y el solicitado AS3992 Roger. Estos pueden tener dos funciones, de configuración interna o de comunicación con los Tags, pudiendo ser también de dos tipos, de salida o, de entrada. Los primeros son siempre solicitudes y los segundos son respuestas o informes a estas peticiones. Están formados por distintos campos, de mayor o menor número, dependiendo de las características del comando. La dimensión de cada campo es un carácter hexadecimal de un Byte habitualmente, o de un Word en algunos casos particulares. La composición básica de todos ellos es un primer byte identificador (Report ID) que es único para cada mensaje, el segundo define la longitud total del comando (Frame Length) y el tercero representa la carga (Payload), que a su vez puede aparecer divisible en múltiples campos, siendo este el que contiene el grueso de los datos y la longitud de los mismos.

Numero de byte	Byte 0	Byte 1	Byte 2	
Representa	ID (Identificador único de solicitud)	Frame Length (longitud total en bytes del comando)	Orden a realizar	
Opciones	0x31	0x03	Arrancar Inventario	0x01
			Información Próximo Tag	0x02
Ejemplo	0x31	0x03	0x01	

**Tabla 18. Partes de un Comando de petición de Inventario y ejemplo**

Como ejemplo, un Comando para la realización de un Inventario de Etiquetas sería un comando con función de comunicación y correspondería con una solicitud, si sigue el formato de la tabla 18 y con su respuesta si la composición es como la tabla 19.

Numero de byte	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 3	...	Byte x
Tipo	ID (Identificador único de respuesta)	Frame Length (longitud total en bytes del comando de respuesta)	Numero de Tags encontrados	Longitud del EPC	Primer byte del EPC	...	Ultimo byte del EPC
Opciones	0x32	Variable	Variable	0x0E	0x30	...	0x4E
Ejemplo	0x32	12	0x02	0x0E	0x30	...	0x4E

**Tabla 19. Partes de un Comando de respuesta a una solicitud de Inventario con ejemplo**

Una muestra en este caso de un Comando con función de ajuste y configuración, correspondería al mostrado en la Ilustración 19 y 20, donde el primero representa una petición de adaptación a valores de protocolo GEN2 y el segundo una respuesta de función realizada. No todos son de modificación de parámetros, a veces son únicamente para solicitar información de cómo está configurado el dispositivo.

Numero de byte	Byte 0	Byte 1	Byte2	Byte3	Byte4	Byte5
Representa	ID	Length	Link frequency set	link frequency	Miller set	Miller setting
Opciones	0x59	0x03	0= 40 KHz 3= 80 KHz 6= 160 KHz 8= 213 KHz 9= 215 KHz 12=320 KHz 15=640 KHz	0= 40 KHz	0=FM0 1=Miller 2 2=Miller 4 3=Miller 8	0=FM0
Ejemplo	0x59	0x0C	0x01	0x00	0x01	0x00
			habilitado	valor	habilitado	valor

Byte 6	Byte 7	Byte 8	Byte9	Byte10	Byte 11
Sesion Set	Sesion	TrExt set	TrExt	qbequin set	qbequin
0=S0	0=S0	1= tono largo de piloto 0= sin uso	1= tono largo de piloto	Valor de arranque para la ronda de inventario	05
1=S1					
2=S2					
3=S3					
0x01	0x00	0x01	0x01	0x01	0x05
habilitado	valor				

**Tabla19. Partes de un Comando de petición SET GEN 2**

Como se puede observar hay múltiples opciones de configuración que nos permitirán adaptarnos a las exigencias de las etiquetas, aunque esto es solo una muestra, ya que el AS3992 dispone de 15 registros con múltiples opciones de adaptabilidad.

Numero de byte	Byte 0	Byte 1	Byte2	
Tipo	ID (Identificador único de respuesta)	Frame Length (longitud total en bytes del comando de respuesta)	Código de Error	
Opciones	0x5A	Variable	Sin errores	0x00
			Con errores	0x09
Ejemplo	0x5A	0x03	0x00	

**Tabla 20. Partes de un Comando de Respuesta a SET GEN 2**

En cuanto a la composición de los comandos para el acceso a la memoria de las etiquetas tenemos en la tabla 21 y 22 una muestra, respecto a una petición de acceso a la dirección 0x47 de la memoria de usuario de un Tag seleccionado previamente. Cuando solicitamos una longitud determinada de datos, si esta supera el número que hay alojado en esa posición de memoria, nos entregará los datos de las posiciones siguientes hasta completar la medida exigida, dato importante y a tener en cuenta ya que nos puede llevar a una mala interpretación de los resultados obtenidos [35].

Numero de byte	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5,6,7,8
Tipo	ID (Identificador único de respuesta)	Frame Length	Banco de Memoria	Dirección de memoria del Tag	Longitud datos en Word	ruf (para valores futuros)
Opciones	0x37	Variable	00=Memoria reservada	Según especificación del fabricante.	Variable	0x00
			01=Memoria EPC			
			02=Memoria TID			
			03= Memoria Usuario			
Ejemplo	0x37	0x05	0x03	0x47	0x06	

**Tabla 21. Partes de un Comando de Acceso a Memoria**

Numero de byte	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	...	Byte x
Tipo	ID (Identificador único de respuesta)	Frame Length (longitud respuesta)	Error	Longitud del Datos en Word	Primer byte de datos	...	Ultimo byte de datos
Opciones	0x38	Variable	sin error=0x00	variable	0x30	...	0x4E
			otro error=0xXX				
Ejemplo	0x38	0x10	0x00	0x06	0x01	...	0x12

**Tabla 22. Partes de un Comando de Respuesta a READ**

El byte número dos de la respuesta indica si hay error o no, en los valores entregados, si es un cero, quiere decir que el paquete es correcto en su totalidad, cualquier otro valor nos estará mostrando una identificación del error.

### **3.3.3 Software de BeeCold.**

El software de BeeCold consiste en un Sketch de extensión “punto ino” ejecutado por el Arduino Mega con las instrucciones necesarias para llevar a cabo una serie de funciones principales, como efectuar un control preciso de un Servicio de Frío, solicitar de forma inalámbrica datos en periodos exactos de muestreo a un Lector UHF RFID, recopilar esos datos solicitados y gestionarlos según sus necesidades, comunicar sin cables o por USB con una aplicación de escritorio para mostrar datos y evolución, recibir de dicha aplicación parámetros de ajuste del ciclo frigorífico de forma remota sin detener su funcionamiento y por último mostrar datos básicos de sus sensores y funciones en el display LCD. El programa está compuesto de las siguientes partes:

- **Librerías y variables.** En esta parte del código además de disponer de todas las variables globales del programa y de las librerías habituales de comunicación Serial, de gestión de display LCD, hay la incorporación de la librería EPROM, de esta forma se pueden aprovechar los 4 Kilobytes disponibles de memoria no volátil [43]. En ella tenemos almacenados los parámetros de programación del Servicio de Frío, la consigna de temperatura, los horarios de descongelaciones, habilitados de actuadores etc. Así cualquier corte de energía nos permite tener memorizados de forma permanente las últimas configuraciones que hayamos hecho a la instalación.
- **Void Setup.** En la función de configuración inicial del dispositivo se realiza la sincronización con el reloj, la inicialización de la pantalla, se asignan los pines de entrada para los sensores de temperatura y los pines de salida para activar los actuadores de la instalación frigorífica. Es aquí donde se inicializa las dos comunicaciones Serial, a 19200 baudios por segundo para el módulo GPRS y a 9600 para el Xbee. También se realiza una carga de los parámetros de programación del Servicio que están almacenados en la memoria EPROM, ya que estos valores son determinantes para el funcionamiento y la seguridad del equipo de Frío.

```

Serial.begin(9600); // Start communication with Processing
SIM900.begin(19200); //Set the serial port speed for t
// initialize the digital pin as
pinMode(4, OUTPUT); // digital output valve solenoid
pinMode(5, OUTPUT); // digital output fans
pinMode(6, OUTPUT); // digital output resistances
pinMode(7, OUTPUT); // digital output auxiliary
pinMode(led, OUTPUT);

pinMode(impulPin, INPUT);
pinMode(returnPin, INPUT);
pinMode(evaporPin, INPUT);

for (int i = 0; i < 35; i++) { //Load the operating parameters
  dataProg [i]= EEPROM.read(i);
}

```

**Ilustración 33. Configuración Serial, entradas, salidas y carga de parámetros**

- Void loop. El bucle principal del programa ejecuta el control de la instalación frigorífica, desplazándose por los tres estados básicos en los que esta se puede encontrar, Paro Automático, Refrigeración, Desescarche y Drenaje. Al mismo tiempo envía datos periódicamente (cada minuto) a la aplicación de PC y solicita datos al Lector RFID UHF cada dos minutos y medio. Realiza continuas lecturas del puerto Serie para recopilar los datos recibidos, distinguidos por sus caracteres de cabecera, “@” en caso de proceder del lector BeeReader o “H” en el caso de que su procedencia sea la Interfaz de escritorio. En función de los datos recibidos del producto se ejecuta el Algoritmo de Ajuste de consigna de temperatura por producto.

```

switch (state) {
case 0: // STATE 0: AUTOMATIC STOP
  offCool(temp_evap); // Solenoid stop and fans running a
  keydisplay=9; // We show the messa
  dataDisplay (keydisplay,cont);
  delay(400);
  if ((clock_def=controlStartDefrost ())==true) || (dataProg [11] == true){ // Check if it is defrost time
    state=2;
    timerdef=( millis()/1000 );
    defrostMinEnd =now.minute()+ dataProg [6];

    if (defrostMinEnd >= 60){
      defrostMinEnd= defrostMinEnd - 60;
    }
  }
}
else{

if((termostato=controlTemp(temp_impul, state, setpointProduct))==true){ // Check whether the th
  state=1;
}
}

```

**Ilustración 34. Estado de Paro Automático de Equipo de Frío**

- Funciones. El número de funciones y acciones de este programa es bastante elevado, van desde procedimientos para gestión de los distintos actuadores o sensores, control de errores, comunicación

GPRS, display, recepción y envío de datos, control termostático, gestión de descongelaciones, cálculo de consigna por producto etc.

### 3.3.4 Parámetros de Programa de BeeCold.

En los apartados anteriores he citado en numerosas ocasiones, los denominados parámetros de programa, o valores que el técnico experimentado debe introducir por USB o de forma inalámbrica en el dispositivo controlador, antes de ser acoplado a la instalación frigorífica para desempeñar su actividad.

N	Parámetro	Valor	Unidad	Función
0	set_temperatura	4	°C	Temperatura de paro de equipo de frío.
1	hystéresis	2	°C	Diferencial para arranque de equipo de frío, se suma al set de temperatura.
2	ideal_Evaporation	-7	°C	Temperatura de evaporación ideal, valor para futuras evoluciones.
3	highAlarm	12	°C	Valor límite de Alarma de temperatura alta temperatura.
4	lowAlarm	-1	°C	Valor límite de Alarma de baja temperatura.
5	fanStopTemp	10	°C	Temperatura de control de ventiladores, si evaporación está por debajo, arranque ventiladores.
6	durationDefrost	20	minutos	Tiempo de duración de desescarche.
7	defrostInterval	3	horas	Intervalo entre desescarche, si no hay reloj externo.
8	defrostStop	8	°C	Temperatura de corte desescarche.
9	drippingTime	2	minutos	Tiempo de drenaje.
10	fanDisableDefrost	0	0 ó 1	Ventiladores apagados en desescarche.
11	ForceDefrost	0	0 ó 1	Forzado desescarche.
12	stopDevice	0	0 ó 1	Paro Remoto dispositivo.
13	disablesFCO	0	0 ó 1	Ventiladores OFF en paro automático.
14	electronicExp	0	0 ó 1	Válvula de expansión electrónica para futuros desarrollos.
15	clockAux	1	0 ó 1	Reloj Auxiliar.
16	longColdRoom	5	mts	Largo cámara frigorífica.
17	widthColdRoom	4	mts	Ancho cámara frigorífica.
18	capacityCoef	0.70		Coefficiente de capacidad según tablas de proyecto de instalaciones frigoríficas.
19	heightColdRoom	2.5	mts	Altura cámara frigorífica.
20	timeDefrost1	3	horas	Hora descongelación 1
21	minDefrost1	10	minutos	Minuto descongelación 1
22	timeDefrost2	6	horas	Hora descongelación 2
23	minDefrost2	15	minutos	Minuto descongelación 2
24	timeDefrost3	9	horas	Hora descongelación 3
25	minDefrost3	20	minutos	Minuto descongelación 3
26	timeDefrost4	12	horas	Hora descongelación 4
27	minDefrost4	30	minutos	Minuto descongelación 4
28	timeDefrost5	15	horas	Hora descongelación 5
29	minDefrost5	40	minutos	Minuto descongelación 5
30	timeDefrost6	18	horas	Hora descongelación 6
31	minDefrost6	50	minutos	Minuto descongelación 6

Tabla 23. Parámetros configurables en BeeCold

Estos datos son imprescindibles para el funcionamiento del equipo y actúan sobre la mayoría de las funciones que realiza el controlador, también son modificables y ajustables cuando este operativo, pero es necesario por el bien de los actuadores y equipos que sea previamente configurado. El listado completo y sus funciones se pueden comprobar en la tabla 23, ejemplo de una cámara frigorífica de conservación para frutas de cinco metros de largo, cuatro de ancho y dos con cinco de alto.

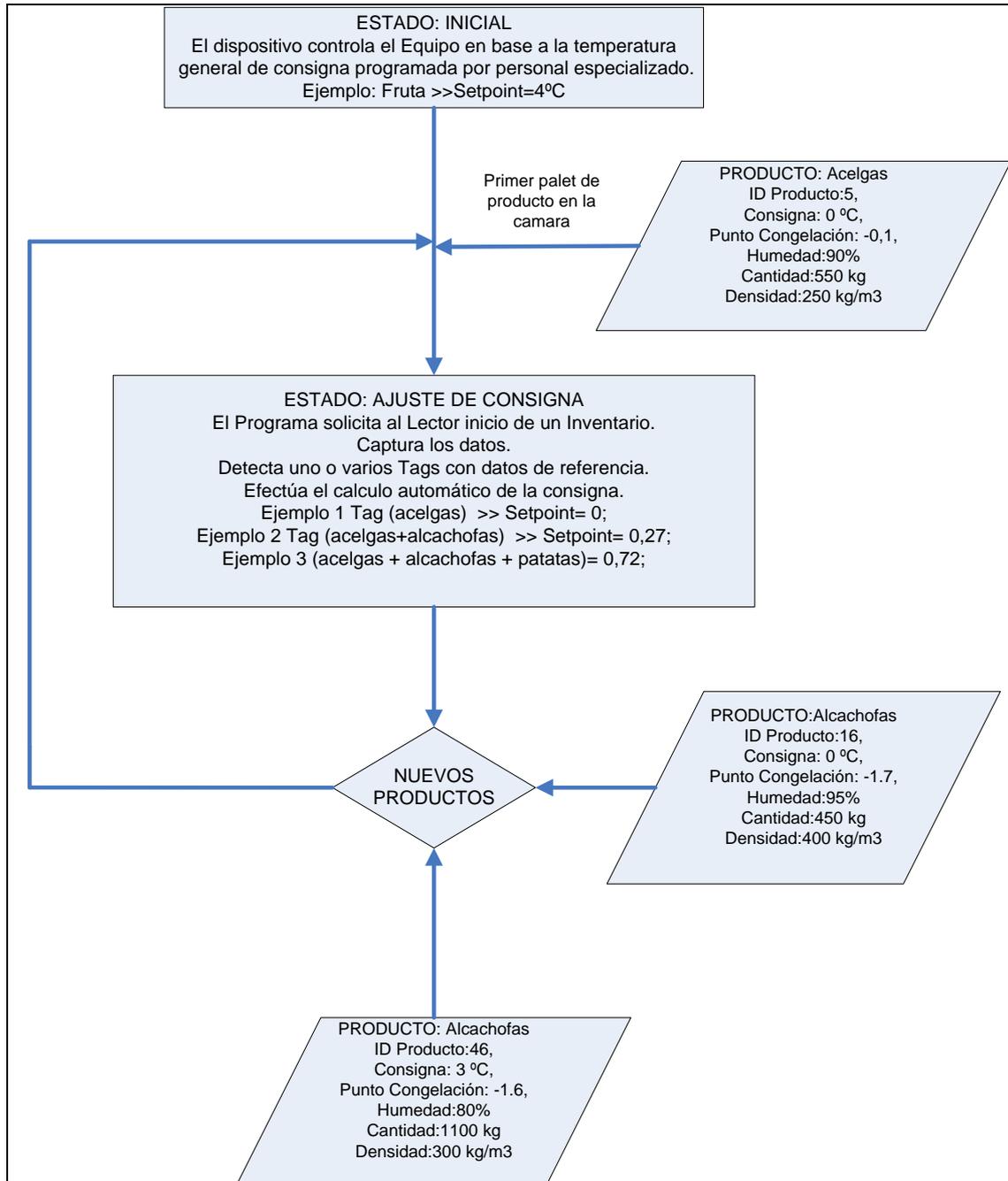
### 3.3.5 Algoritmo de Ajuste de Consigna por datos de producto.

La misión del algoritmo de Ajuste de Consigna o Setpoint (anglicismo habitual en los profesionales del frío), es la de adaptar la temperatura de la instalación frigorífica, al producto que se encuentra en su interior. Actualmente en un dispositivo de Control se establece una consigna fija que solo es modificable por un operario especializado, en este caso se hará de forma automática, teniendo en cuenta las entradas y salidas de producto, en función del producto que haya dentro de la cámara o recinto refrigerado. Con esto ajustaremos la temperatura a las necesidades del producto, minimizando en todo lo posible las pérdidas y permitiendo que los recintos frigoríficos no sean específicos para un determinado producto como ocurre habitualmente, sino que puedan ser polivalentes y reutilizados para cualquier alimento.

El algoritmo tiene en cuenta una serie de valores conocidos de antemano, estos son:

- **Las dimensiones del recinto refrigerado.** Estos valores son parámetros de programa, altura, largo y ancho, están memorizados en la EPROM del programa y son configurados en la puesta en marcha del beeCold. Estos datos se cargan con la aplicación InterfazBee que nos permite configurar las condiciones de trabajo del dispositivo.
- **Coeficiente de Almacenamiento K.** Es un valor que la aplicación InterfazBee, calcula de forma inmediata, en cuanto se introducen las dimensiones de la cámara ya que de ellas depende. Por lo tanto, es un parámetro de programa, al igual que las dimensiones y procede de las tablas de cálculo de proyectos frigoríficos.
- **Datos de referencia de producto.** El dispositivo beeCold solicita periódicamente al Lector que realice una ronda de control de etiquetas. Las etiquetas devuelven la última temperatura registrada y los datos de referencia del producto previamente grabados. Esos datos son:
  - **Consigna ideal.** Temperatura ideal de proyecto para ese producto.
  - **Punto de congelación.** Valor en el que el alimento empieza a congelarse
  - **Cantidad de producto.** Cada Etiqueta contiene el peso del producto al que representa.

- **Densidad de producto.** Valor de proyecto que cada alimento posee, representa su capacidad de ocupación en un determinado volumen.



**Ilustración 35. Proceso de Ejecución del Algoritmo de Ajuste de consigna.**

El proceso que realiza el dispositivo para efectuar ajustes en la consigna de temperatura sigue el flujo determinado en la Ilustración 35 y se inicia con la detección de la primera etiqueta, mientras no se detectan se considera la

cámara frigorífica vacía, siendo la consigna válida, la preprogramada en el dispositivo.

El funcionamiento del algoritmo sigue los siguientes pasos:

- 1) Calcula el volumen neto de la cámara o recinto refrigerado, según datos instalados, altura, largo y ancho interior recinto.
- 2) Efectúa el cálculo del peso o porcentaje de cada producto teniendo en cuenta el coeficiente K, la densidad del alimento y el volumen neto. De esta forma determinamos la superioridad cuantitativa de cada alimento.
- 3) Suma los porcentajes de producto, obteniendo un total de pesos ocupados. Se determina cual es la ocupación de la cámara frigorífica
- 4) Realiza una ponderación parcial en función de la consigna ideal de los productos y el porcentaje total ocupado. Esta primera ponderación es en función de la consigna de proyecto para cada producto, lo que determinaría el nivel alto de temperatura de corte.
- 5) Realiza una ponderación parcial, ahora en función del punto de congelación, con el fin de determinar el nivel bajo del punto de corte
- 6) Calcula la media de las dos ponderaciones.
- 7) Efectúa un Equilibrado del valor obtenido en relación con el punto de congelación más alto. Esto evitará posibles congelaciones en los productos más sensibles.
- 8) Valor de consigna ajustada calculado.

```
COM4
@3 2.5,5,0,65526,90,520,250|5.6,300,5,65520,95,450,400|3.7,18,3,65528,80,1100,300|
@
  Acelgas      Alcachofas      Patatas
AJUSTE VARIABLE DE CONSIGNA
Volumen Neto Camara =50.00
Coeficiente de Capacidad =0.70
Porcentaje de producto en camara =19.63
Ponderacion Parcial =47.50
Consigna Ideal =2.42
Consigna en Funcion Punto Congelacion = -0.99
Consigna Ajustada =0.71
@H,19.00,19.30,19.20,0.71,1,0,0,13,20,40,
```

**Ilustración 36. Serial Monitor muestra el cálculo efectuado con tres productos identificados en la cámara frigorífica.**

Una norma importante que se debe cumplir, es la de almacenar en la misma cámara alimentos del mismo grupo de temperaturas, teniendo en cuenta el análisis hecho en el capítulo dos, sobre las distintas temperaturas de los alimentos. No tendría sentido almacenar manzanas y plátanos, ya que pertenecen a grupos distintos, uno de 0 a 4 °C y otro de 12 a 14 °C.

### 3.3.6 Interfaz Gráfica del Sistema.

La interfaz del Sistema es una aplicación de escritorio realizada con Processing [44]. Este es un lenguaje de programación y entorno de desarrollo basado en Java, de fácil utilización, con infinitas posibilidades visuales, con una comunidad de desarrolladores muy colaborativa y de cómoda integración con el entorno Arduino. Otra de las ventajas disponibles, son las múltiples librerías de que dispone, entre ellas BezierSQLib, que sirve para establecer la futura comunicación con una base de datos realizada en MySQL, SQLive o Postgress[45].

#### 3.3.6.1 Aplicación InterfaceBee.

La Interfaz de usuario se denomina InterfazBee, esta aplicación, que experimentará junto con todo el sistema ampliaciones futuras con las que disponer de un mayor número de competencias sobre todo en cuanto a datos de producto y de etiquetas. Efectúa actualmente las siguientes funciones:

- Grabado de Parámetros de Programa en BeeCold. El dispositivo controlador del Equipo de frío necesita ser cargado previamente, con unos parámetros de programación, por un operario especializado antes de ser conectado a la instalación, según los requerimientos técnicos que tenga la misma. Esta interfaz gráfica permite realizar cómodamente esta carga inicial de datos operativos.
- Realizar modificaciones de forma remota. Con esta Interfaz podemos realizar ajustes y actualizaciones de forma remota con el dispositivo controlador, sin necesidad de efectuar ningún paro en el Equipo de Frío.
- Visualización y control de la instalación. La aplicación nos permite el control y visualización permanente de la instalación y en general del sistema, de forma cómoda, remota e inalámbrica con Xbee Explorer.

El programa que genera la aplicación está compuesta por las siguientes partes, enumeradas a continuación:

- 1) **Librerías.** Las librerías que lo componen es estos momentos, la de comunicaciones Serial, la Arduino y Controlp5 [46], especial para el diseño de interfaces de usuario. En la Ilustración 37 se pueden observar.
- 2) **Void Setup.** Es, al igual que en el software de Arduino, la parte de configuración y solo se ejecuta al inicio del programa. Aquí es donde abrimos la comunicación Serie, tamaño de pantalla, colores y establecemos todos los objetos o elementos que aparecen en la pantalla.
- 3) **Void draw.** Este apartado se ejecuta de forma continua y consta de cuatro estados principales:

- a) **Inicial.** Se envía un saludo a BeeCold, para indicarle que la aplicación se ha abierto y necesita que le envíe los datos operativos y de configuración para mostrar en pantalla.
  - b) **Modo Programación.** Cuando pulsamos el botón de programación, entramos en esta etapa, en ese momento no se recibirán datos durante un tiempo predeterminado, lo que nos permitirá realizar las variaciones que necesitemos.
  - c) **Modo Comunicación.** Una vez que pulsamos el botón de comunicación, se cargan los datos y se reinicia la adquisición de información. El primer paquete que se recibe son todos los valores de programación que se han modificado.
  - d) **Modo Normal.** Recibe y actualiza toda la información que le va transmitiendo BeeCold.
- 4) **Funciones.** Los procedimientos o funciones fundamentales de la aplicación son, una para recepción de datos, otra para transmisión de información y la última para control de eventos, que capta los cambios que se produzcan en los objetos de pantalla, Sliders, botones, cajas de texto etc.

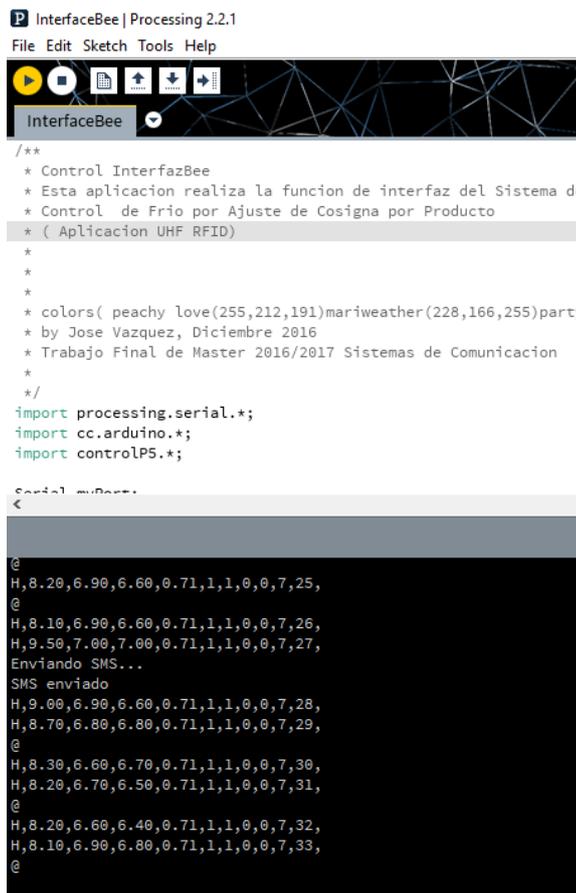
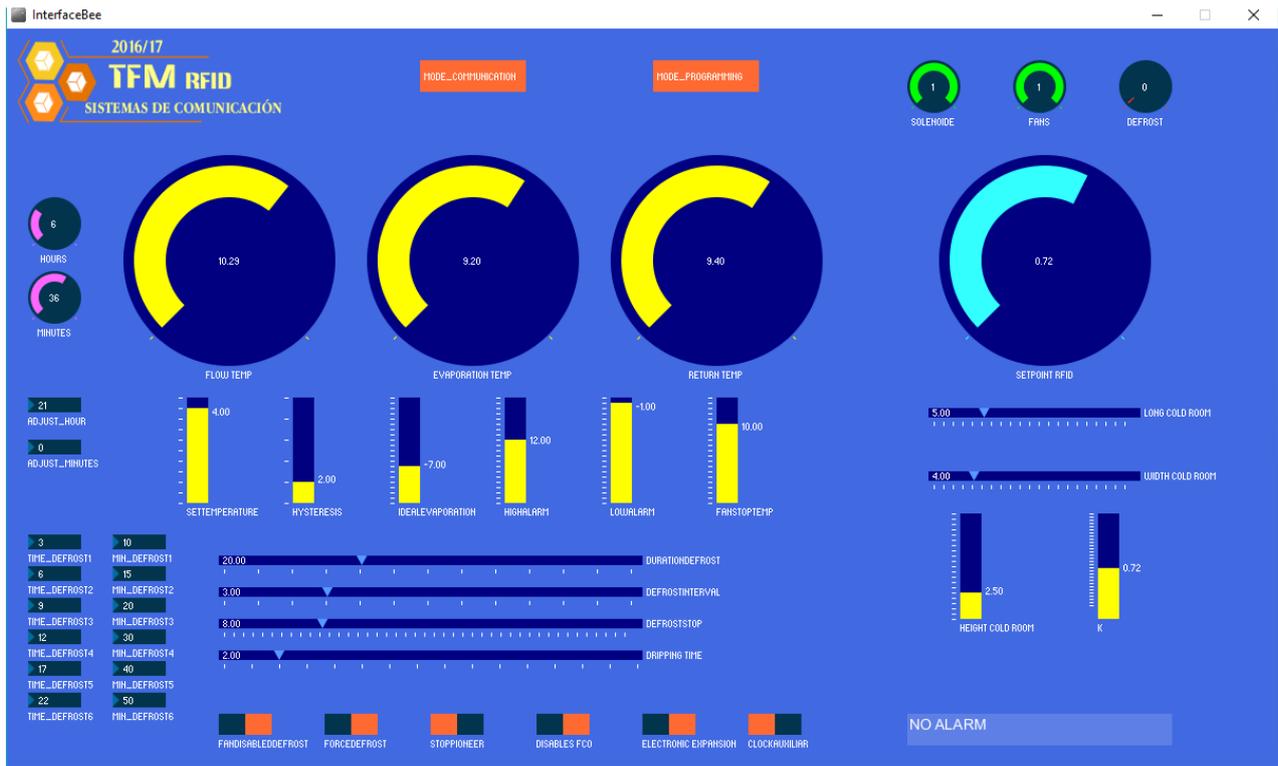


Ilustración 37. Programa de InterfaceBee con visualización de puerto Serie



**Ilustración 38. Vista general de la Aplicación InterfazBee**

En la pantalla única y principal del programa, destacamos los siguientes elementos, empezando de izquierda a derecha y de arriba abajo, partiendo del logotipo del Trabajo final de Carrera, siguiendo la Ilustración 38:

- Dos botones, para pasar a modo de programación y para cargar datos programados.
- Tres pequeños Knob, para indicar si la electroválvula, ventiladores (colores verdes) y resistencias (color rojo) se encuentran o no activados.
- Dos Knob de color violeta, uno encima del otro, que indican la hora y minutos actuales, registrados por ColdBee, esta opción se ha incluido para observar los posibles retrasos que acusa el reloj de tiempo real DS1307.
- Cuatro Knob grandes, tres muestran las temperaturas de impulsión, evaporación y retorno, el último los ajustes de la consigna de temperatura. Están continuamente actualizándose.
- Dos cajas numéricas para corrección de hora y minuto.
- Seis Sliders verticales para configuración de parámetros de programación.
- Dos Sliders horizontales para dimensiones de cámara, largo y ancho.
- Doce cajas numéricas para organizar descongelaciones programadas, de esta forma se pueden organizar en momentos que no afecten al producto o al proceso de trabajo.
- Cuatro Sliders horizontales para configuración del proceso de desescarchado y drenaje del evaporador.

- Dos Sliders horizontales, una para la altura del recinto y otro para el parámetro K, obtenido y calculado por la aplicación según tablas de proyecto.
- Seis Toggles para configuraciones de programación de BeeCold, desde forzar una descongelación, a la inclusión o no de un reloj externo ó una válvula de expansión electrónica, esto último para versiones futuras.
- Por ultimo dispone de una caja de texto que nos comunica los errores que se están produciendo en BeeCold, así como los cambios que vamos haciendo en la interfaz.

### 3.4 Pruebas y resultados del Sistema.

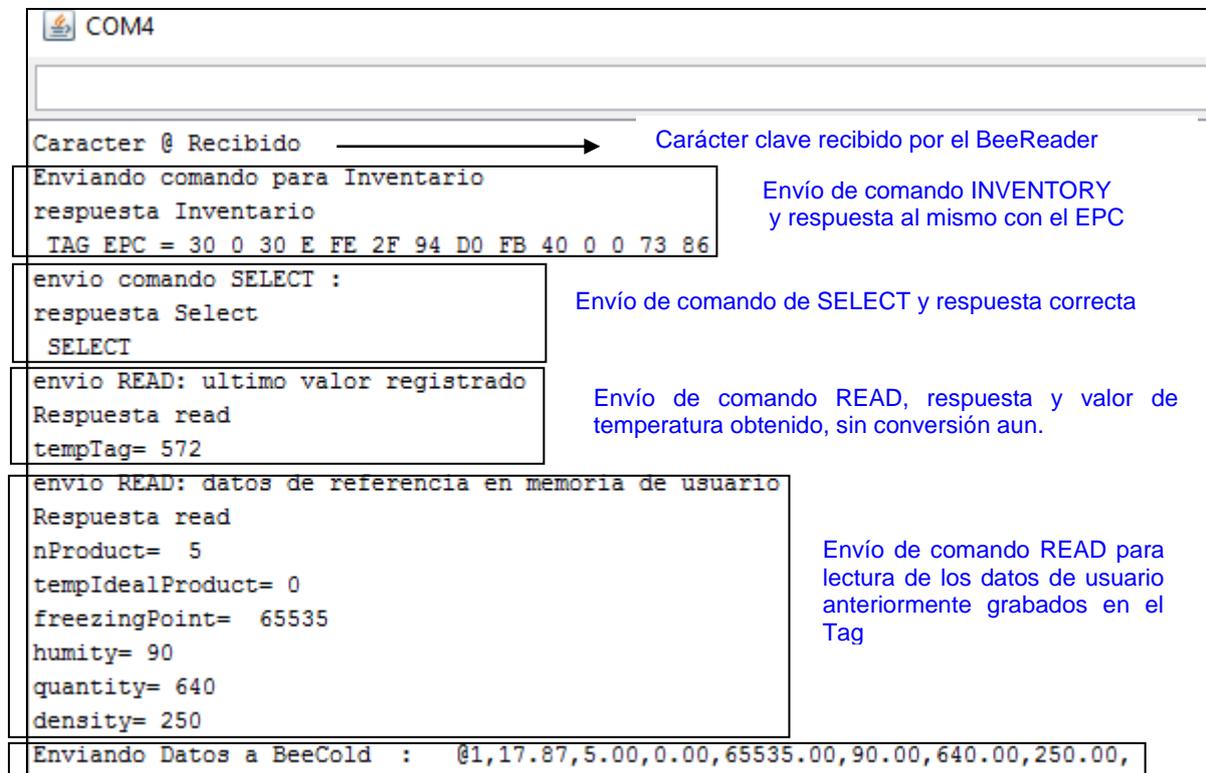
#### 3.4.1 Pruebas con el Lector UHF RFID BeeReader.

Para comprobar el correcto funcionamiento del BeeReader UHF RFID, de forma inalámbrica se simula un entorno compuesto por el dispositivo Lector y un dispositivo externo, que en este caso sería el conjunto formado por un XBee Explorer (con un Xbee incorporado), conectado al puerto serie del ordenador (puerto COM4), y la aplicación Serial Monitor operativa para envío y comprobación de resultados.

La primera prueba se efectúa con un solo Tag (RT0005), enviando desde el Serial Monitor el carácter clave, que es transmitido por el Xbee Explorer de forma inalámbrica (protocolo Zigbee), siendo captado por el BeeReader que realiza su rutina automática de búsqueda, selección y lectura de Etiquetas. Estamos simulando el envío que en su momento realizará el Control de Frío solicitando datos de producto. En la ilustración 39 se hace un análisis de los resultados recibidos y los distintos procesos de comunicación que realiza BeeReader son:

1. **Efectúa el Inventario.** Obtiene los códigos EPC de las Etiquetas encontradas.
2. **Realiza la selección de la Etiqueta.** Obtiene confirmación de selección correcta de Etiqueta.
3. **Ejecuta la lectura del último valor registrado por el Tag.** Obtiene ese valor en hexadecimal, que en grados centígrados se expresa en notación punto fijo 8.5, siendo equivalente a 17,8 °C.
4. **Efectúa el acceso a la memoria de usuario.** Obtiene los datos de referencia del producto.
5. **Transmite el paquete de datos a BeeCold.** Esta comunicación es externa al Sistema RFID

El valor del punto de congelación es un número negativo cuya conversión por comodidad lo efectuará el dispositivo controlador de Frío (BeeCold).



Paquete de datos con destino al Controlador de Refrigeración: carácter clave, número de etiquetas, última temperatura registrada ya convertida, consigna ideal para el producto, punto de congelación sin convertir, humedad, cantidad de producto en kilos, densidad.

**Ilustración 39. Prueba y análisis del lector con un solo Tag.**

En una segunda prueba se aumentan el número de Tags con el fin de analizar la respuesta del sistema. Se puede observar en la Ilustración 40 como el aumento del número de Etiquetas no afecta a la evolución del Lector, que continúa desarrollando su rutina sin problemas. El proceso se puede observar que es el mismo que el realizado en el caso anterior, la misma rutina, primero sobre uno de los Tags y después sobre el otro, finalizando con un paquete de datos con destino al BeeCold.

Los datos de temperatura son distintos por que los dos Tags emplean distinto tipo de notación, aunque son del mismo proveedor. En el paquete enviado al Controlador los valores de temperatura de producto ya están convertidos a escala centígrada, no así los de punto de congelación que como indique anteriormente lo convertirá posteriormente BeeCold.

COM4

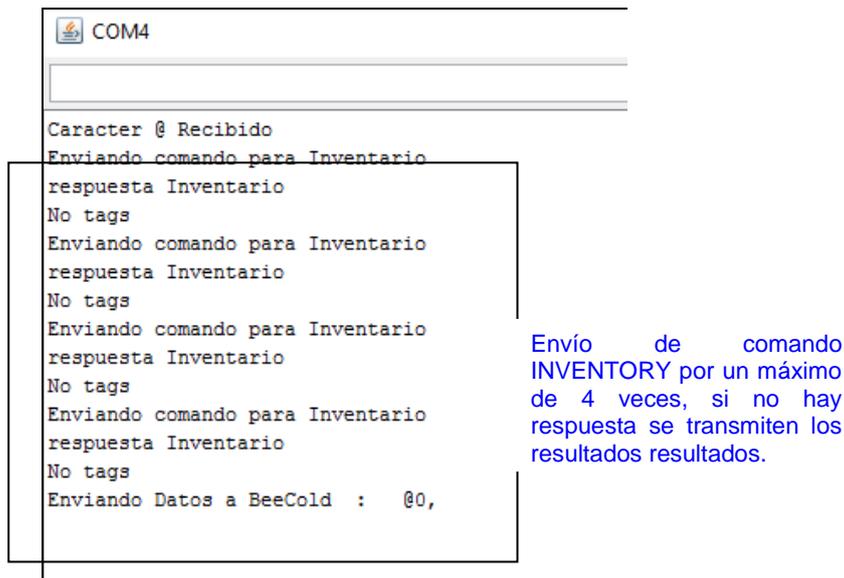
---

Caracter @ Recibido

<pre> Enviando comando para Inventario respuesta Inventario TAG EPC = 30 0 7 E0 7 1A 0 1A 0 0 0 0 C AE respuesta Inventario TAG EPC = 30 0 30 E FE 2F 94 D0 FB 40 0 0 73 86 </pre>	Envío de comando INVENTORY, respuesta con los códigos EPC de las Etiquetas localizadas
<pre> respuesta Select SELECT </pre>	Envío de comando SELECT y respuesta para el primer Tag
<pre> envio READ: ultimo valor registrado Respuesta read tempTag= 58 </pre>	Envío de comando READ, y respuesta con el último valor de temperatura registrado de la primera Etiqueta, sin conversión aún.
<pre> envio READ: datos de referencia en memoria de usuario Respuesta read nProduct= 215 tempIdealProduct= 221 freezingPoint= 222 humity= 75 quantity= 72 density= 72 </pre>	Envío de comando READ y respuesta con los datos de referencia de usuario de la primera Etiqueta
<pre> envio comando SELECT : respuesta Select SELECT </pre>	Envío de comando SELECT y respuesta para el segundo Tag.
<pre> envio READ: ultimo valor registrado Respuesta read tempTag= 572 </pre>	Envío de comando READ, y respuesta con el último valor de temperatura registrado del segundo Tag
<pre> envio READ: datos de referencia en memoria de usuario Respuesta read nProduct= 5 tempIdealProduct= 0 freezingPoint= 65535 humity= 90 quantity= 640 density= 250 </pre>	Envío de comando READ, respuesta y valores de referencia alojados en la memoria de usuario, Paquete de datos para enviar al controlador de frío como respuesta a su solicitud de datos de producto
<pre> Enviando Datos a BeeCold : @2,5.80,215.00,221.00,222.00,75.00,72.00,72.00,17.87,5.00,0.00,65535.00,90.00,640.00,250.00 </pre>	

**Ilustración 40. Prueba y análisis del lector aumentando el número de Etiquetas.**

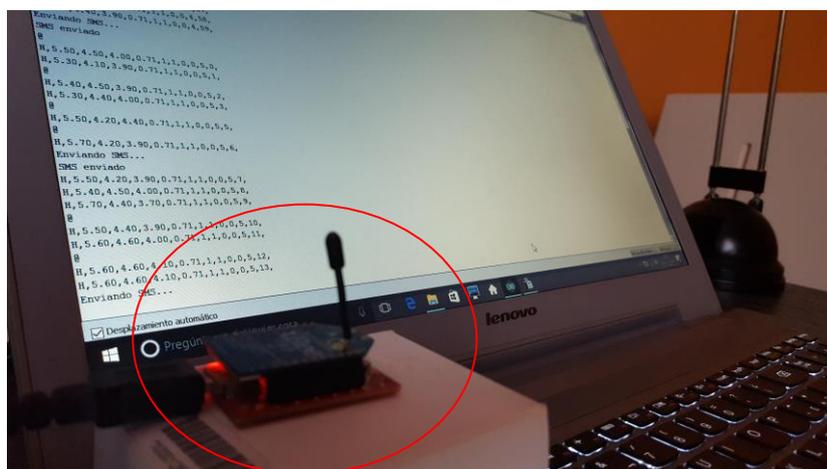
La tercera y última prueba que se decide realizar, se efectúa en un entorno sin Etiquetas. De esta forma comprobaremos como actúa el lector en esta situación. Como se puede observar en la Ilustración 41, una vez que en un primer intento no consigue respuesta de ningún Tag, repite la acción por un máximo de 3 veces más, al no tener éxito da por finalizada la ronda. La repetición de acciones también está establecida para la fase de Select y Read, ante la posibilidad de fallos de comunicación con los Tags en algunos momentos críticos.



**Ilustración 41. Prueba y análisis del lector en un entorno sin etiquetas**

### 3.4.2 Pruebas con el controlador BeeCold.

El entorno de pruebas está compuesto por el dispositivo BeeCold midiendo las temperaturas de un pequeño receptáculo y transmitiendo de forma inalámbrica una serie de datos a un Xbee Explorer, a su vez conectado por USB a un ordenador con la aplicación Serial Monitor, realizando la función de monitorización de resultados.



**Ilustración 42. Serial Monitor y Xbee Explorer recibiendo datos de BeeCold**

En la Ilustración 42 se puede apreciar parte del entorno de pruebas, captando y mostrando los datos recogidos. En la Ilustración 43 analizamos con detalle la información recibida donde se pueden apreciar las distintas funciones que realiza el dispositivo. Los datos con la cabecera “H” son los que van destino a la Interfaz de trabajo que se detallará en el apartado siguiente. El periodo de

muestreo se puede apreciar que están establecidos en un minuto para actualización de temperaturas, 2 minutos 30 segundos para solicitudes al Lector y 7 minutos para envío de un mensaje informativo a un responsable técnico. Estos tiempos son para el análisis de la operatividad del sistema, en condiciones normales de funcionamiento se deben ajustar y acondicionar a los requerimientos y necesidades de la instalación.

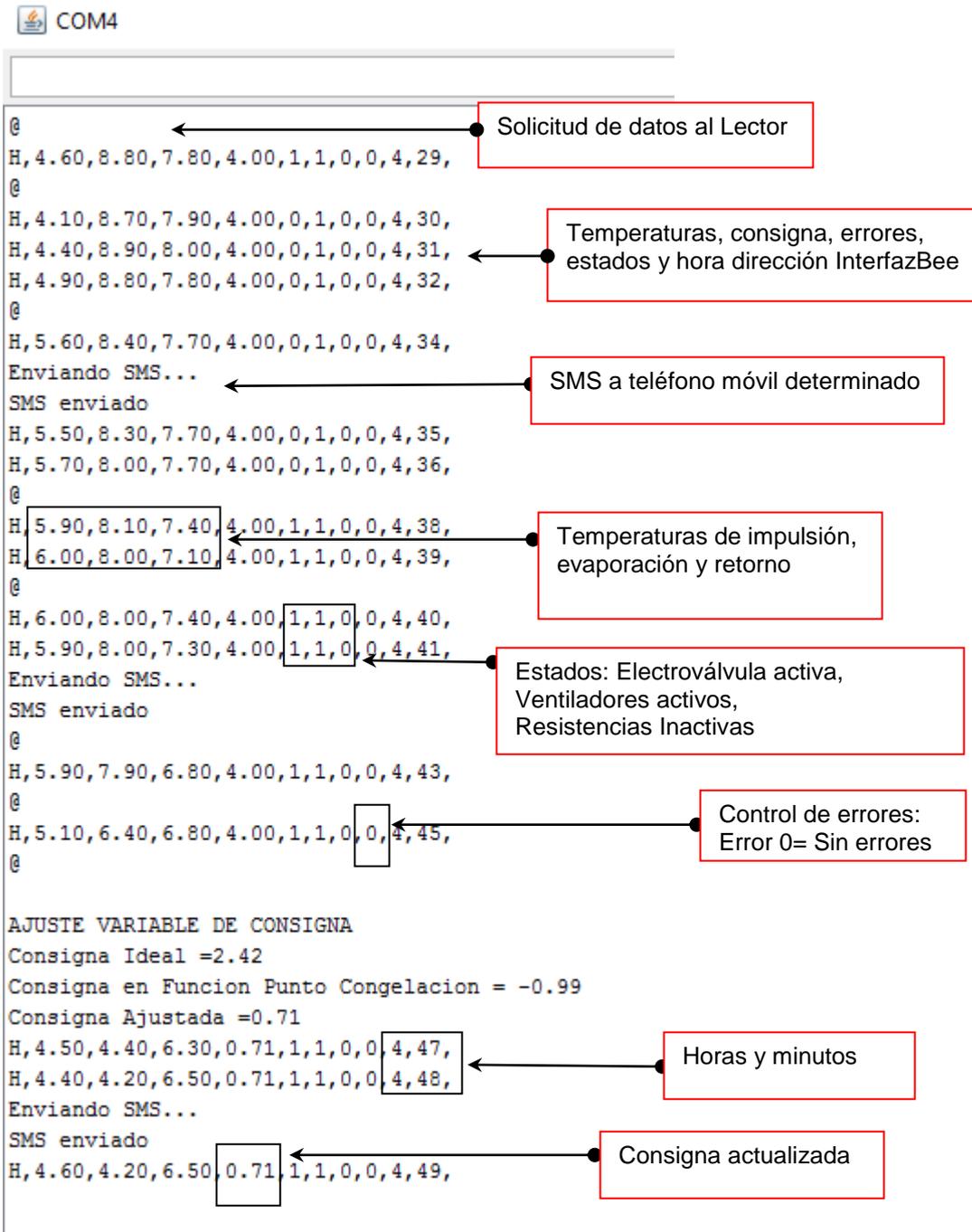


Ilustración 43. Análisis de la información de BeeCold

### 3.4.3 Análisis de la aplicación del Ajuste de Temperatura en Instalaciones de Frío.

Partiendo de los datos obtenidos en el Capítulo 2 (apartado 2.3.2), “Las distintas temperaturas de los productos”, en las que se establece que la reducción de diez grados de temperatura en un producto puede significar aproximadamente un aumento de su durabilidad en 2,5 veces.

Partiendo de una Tabla, con una relación de frutas a las que se decide descender su temperatura, del valor máximo ideal a un valor mínimo ideal de consigna, se deduce, que cada grado de descenso de temperatura, significará un aumento del 25% de la durabilidad del producto. Pero teniendo en cuenta que ese valor no podría ser aplicable a todos los productos de la relación, por las características particulares de cada uno. Se considera aceptable declarar como valor de mínimo de referencia un 12,5%, consiguiendo unos nuevos tiempos, en la mayoría de los casos, un 60% mejores.

Alimento	Temperatura	Tiempo de duración en Semanas	Temperatura Ajustada	Porcentaje* grado reducido	Nuevo tiempo obtenido
Albaricoque	4	2 a 4	0	12,5*4	3,7 a 6,4
Cereza	4	1 a 3	0	12,5*4	1,5 a 3,5
Frambuesa	4	3 a 5 días	0	12,5*4	4,8 a 8 días
Fresa	4	1 a 5 días	0	12,5*4	1,6 a 8 días
Higo	4	1 a 2	0	12,5*4	1,6 a 3,2
Mango	9	2 a 6	5	12,5*4	3,2 a 9,6
Melón	12	1 a 3	10	12,5*2	1,3 a 3,9
Plátano	12	1 a 3	10	12,5*2	1,3 a 3,9
Sandía	9	2 a 3	5	12,5*4	3,2 a 4,8
Aguacate	9	2 a 4	5	12,5*4	3,7 a 6,4
Ciruela	4	2 a 7	0	12,5*4	3,7 a 11,2
Mandarina	9	4 a 6	5	12,5*4	6,4 a 9,6
Melocotón	4	1 a 4	0	12,5*4	1,6 a 6,4
Piña madura	9	2 a 4	5	12,5*4	3,7 a 6,4
Uva	4	4 a 6	0	12,5*4	6,4 a 9,6
Coco	4	6 a 8	0	12,5*4	9,6 a 12,8
Naranja	4	8 a 12	0	12,5*4	12,8 a 19,2
Limón	15	12 a 20	12	12,5*3	17,4 a 29
Manzana	4	8 a 30	0	12,5*4	12,8 a 48
Pera	4	8 a 30	0	12,5*4	12,8 a 48
Pomelo	12	12 a 16	10	12,5*2	15,6 a 20,8

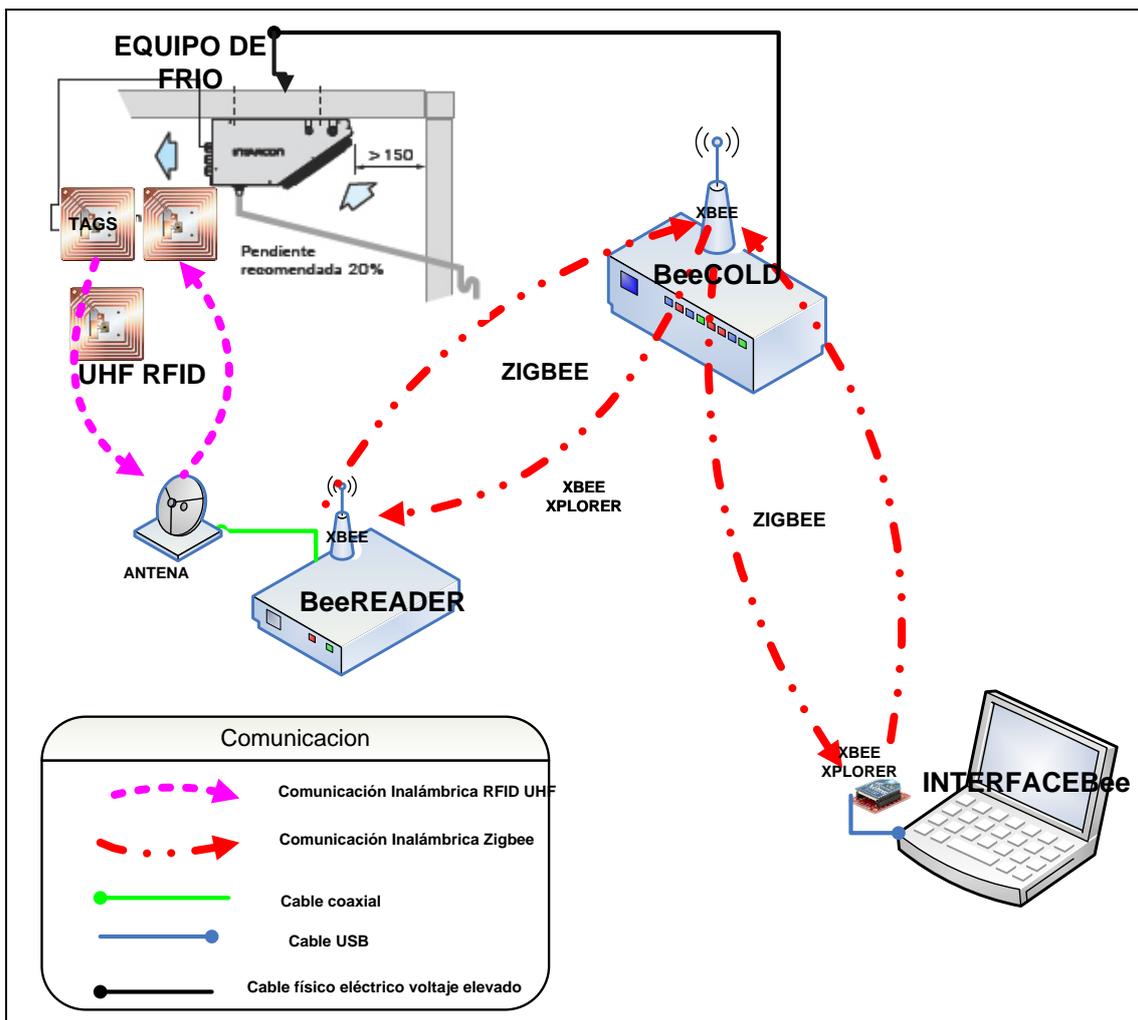
**Tabla 24. Análisis de la durabilidad de varios tipos de frutas con un descenso de Temperatura.**

Esto demuestra que el ajuste controlado de la temperatura, puede aportar elevados beneficios en la durabilidad de los alimentos perecederos. Un

producto con mayor tiempo de vida consumible tiene más opciones de ser consumido que de ser desperdiciado.

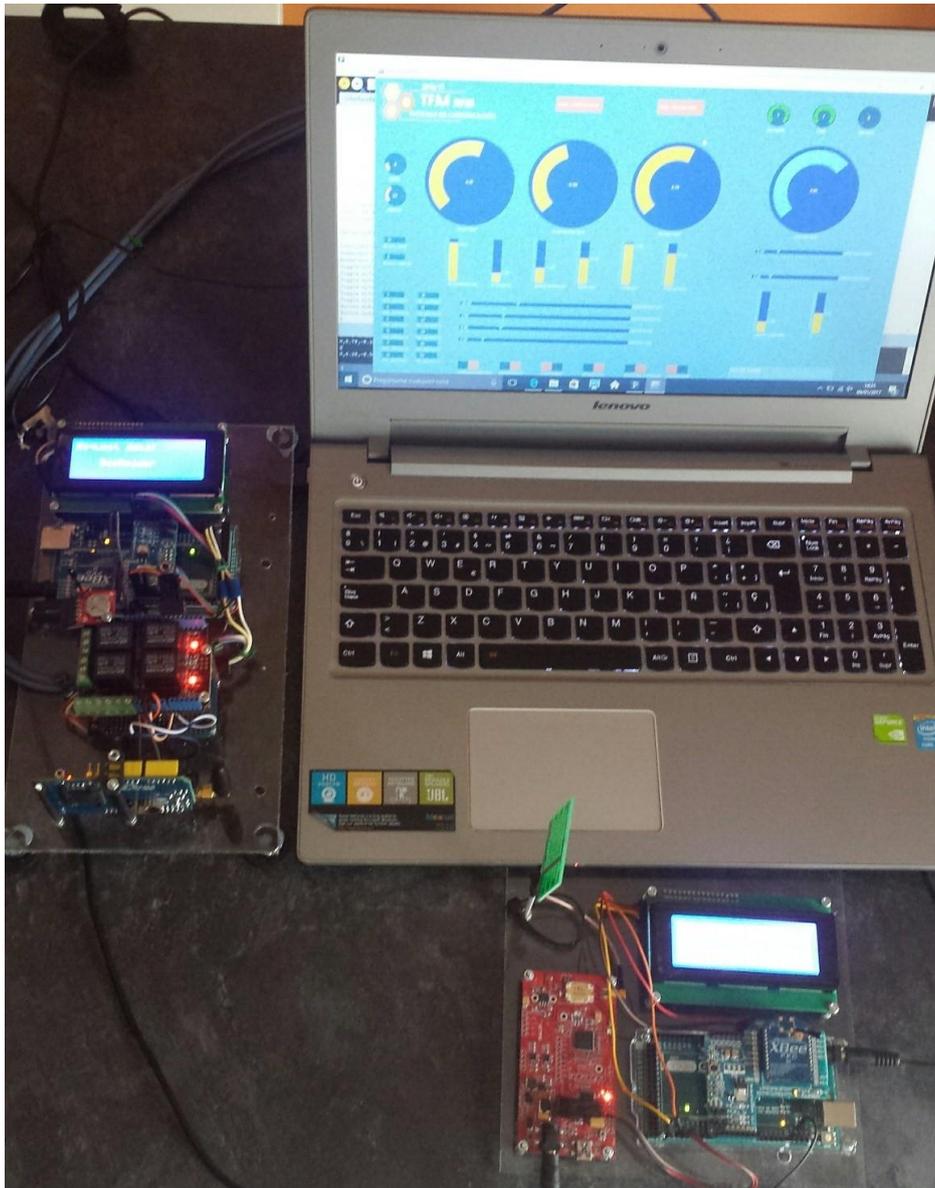
### 3.5 Diseño final del Sistema.

El Sistema una vez ensamblados y configurados cada uno de sus componentes de forma individual, realizadas las pruebas de hardware y software y completado el análisis de funcionamiento queda definido de la forma mostrada en la ilustración 44, en base a los planteamientos desarrollados en los apartados anteriores.



**Ilustración 44. Sistema de Control Automático de Temperatura**

Una vez representadas las líneas conceptuales del Sistema y sus componentes, así como el flujo de comunicaciones entre ellos, en la siguiente Ilustración 45 se puede observar el dispositivo de forma física. Falta la antena del Lector ya que la que dispone en estos momentos es de corto alcance.



**Ilustración 45. Prototipos actuales de BeeReader y BeeCold e InterfazBee**

## 4. Conclusiones

Gracias a este trabajo final de carrera, he podido aplicar muchos de los conocimientos adquiridos durante el Master, además de tener la oportunidad de profundizar en muchos otros aspectos, algunos de los cuales eran desconocidos para mí, como por ejemplo la tecnología RFID y sus enormes posibilidades en el campo del control y monitorización de la cadena de frío. Ha sido muy interesante la cantidad de conocimientos nuevos y en poco tiempo que he tenido que adquirir, sobre Etiquetas en general y en particular sobre las semipasivas con sensores, dotadas de unas funcionalidades verdaderamente sorprendentes. Particularmente ha representado un enorme reto el poder trabajar con un lector RFID UHF y poder realizar todo tipo de pruebas sobre las etiquetas a todos los niveles. También me ha permitido ampliar mis conocimientos del entorno Arduino, trabajar con la tecnología GPRS y los comandos AT, así como sufrir la dificultad que entraña la implementación de circuitos electrónicos y sus problemas.

La lección más dura aprendida es sin duda la dificultad enorme que conlleva diseñar e implementar un Sistema de Comunicación, que a su vez está integrado por subsistemas de comunicaciones, la cantidad de trabajo realizado posiblemente supera con creces el nivel del resultado obtenido, sobre todo cuando el tiempo es ajustado y todo el esfuerzo recae en una sola persona, no en un equipo.

En cuanto a los objetivos planteados inicialmente, se puede hacer una reflexión enumerada individual, de cada uno de ellos:

- 1) El primero objetivo era conseguir conocer la tecnología RFID, y las etiquetas semipasivas con sensores, además de obtener un sistema lector y controlador de bajo precio. Esto se ha conseguido con creces, tanto los conocimientos, como lo económico del lector y el controlador.
- 2) El siguiente reto establecido era conseguir un lector de Etiquetas funcional que envíe datos a un Controlador para Equipo Frigorífico. Esta meta esta lograda, como se ha podido observar en las pruebas del Lector (observables en el apartado 3.3.6). Queda pendiente el cambio de Antena, por una de mayor potencia, ya que la actual es extremadamente limitada en cuanto al alcance, pero la elección de una de mayores prestaciones necesita un proceso de análisis, tanto de selección como de presupuesto.
- 3) El objetivo de conseguir un dispositivo capaz de controlar un Equipo de Frío y recibir datos de producto y enviarlos a una aplicación, está plenamente conseguido, solo necesitamos someter al prototipo a una prueba en instalación frigorífica continuada, para depurar los pequeños detalles y dar por plena su capacidad. También se han hecho pruebas con el algoritmo de ajuste de consigna por datos de producto, aunque debe ser sometido a una prueba más amplia con mayor número de productos.

- 4) El planteamiento de realizar un prototipo dotado de comunicación GPRS, especial para vehículos de transporte, se desechó ya que resultaba más práctico dotar de esa funcionalidad a todos los prototipos de controlador, tanto a los fijos como a los móviles, esto resultaba más económico, más funcional y a la vez práctico.
- 5) La aplicación de escritorio esta conseguida en su desarrollo básico y para las funcionalidades que se habían establecido, por lo tanto, también se puede dar por reto superado.

Por lo tanto, los objetivos están cumplidos, solo es necesario sustituir la Antena y disponer de un Xbee más de los actuales y que sería el que estaría en la aplicación informática para poder instalar todo el sistema en una instalación operativa y ahí realizar las pruebas de stress oportunas.

El seguimiento de la planificación ha sido correcto hasta el inicio de la Fase 3, de desarrollo de producto, quizás en sí la planificación era demasiado optimista, distintos problemas con los dispositivos, sobretudo el Lector, y una carga excesiva de trabajo, han provocado un solapamiento con la Fase 4, que están creando dificultades en la realización y entrega de la misma PEC4.

Las líneas de trabajo futuro van encaminadas a la realización de pruebas en campo, continuadas, que permitan depurar, los pequeños fallos que no hayan sido detectados todavía. Una vez que el Sistema sea totalmente autónomo y esté garantizado al cien por cien, entonces se debe plantear su evolución, incluyendo una base de datos completa de producto e información de la instalación, donde podamos almacenar todos los datos de las etiquetas. Otro punto de desarrollo es conseguir unas etiquetas más económicas que las utilizadas en este proyecto, y conseguir sus funcionalidades especiales aumentando las competencias del Lector y el Controlador.

## 5. Glosario

Auto-ID: Auto Identificación.

Arduino: Plataforma de prototipado electrónico de código abierto.

Baudios: Unidad de medida que representa la cantidad de símbolos por segundo

BeeReader: Nombre dado al prototipo de dispositivo Lector implementado en este proyecto.

BeeCold: Nombre otorgado al dispositivo Controlador de Equipos de Refrigeración diseñado en este Trabajo Final de Carrera.

Circuito integrado: Estructura de pequeñas dimensiones sobre la que se fabrican circuitos electrónicos.

Coefficiente Beta: Temperatura característica del material, valor entre 2000 K y 5000 K.

Consigna Ideal: Nombre dado a la temperatura ideal a la que debe estar un producto para su perfecta conservación.

CSMA/CD: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection. El Acceso Múltiple por Detección de Portadora es una técnica usada en las redes para mejorar sus prestaciones evitando las colisiones.

Comandos: Instrucción software que se envía al lector para que ejecute una determinada tarea

Dbic: Decibelios de ganancia que ofrecen las antenas con polarización circular.

Desescarche: Proceso o función en el que se realiza el deshielo de un intercambiador de refrigeración.

Densidad de producto: Cantidad de producto que se puede almacenar en un volumen de un metro cúbico.

Drenaje: Espacio de tiempo para el escurrido después del deshielo de un intercambiador frigorífico.

Diferencial de Temperatura: Es el mismo concepto que la histéresis.

Equipos de Frío: unidades frigoríficas para producción de bajas temperaturas para conservación y congelación.

Electroválvulas: Válvulas mecánicas activadas por bobina solenoide de dos posiciones, abierta o cerrada, de paso todo o nada.

Etiqueta semipasiva. Se denomina a aquellas etiquetas RFID provistas de una alternativa energética auxiliar, batería.

Evaporador: Intercambiador frigorífico donde el refrigerante pasa de estado líquido a gaseoso al absorber calor del medio.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

FFD: Full Function Device. Denominación en Zigbee para los dispositivos que realizan todas las funciones, también denominados nodos activos.

GPRS: General Packet Radio Service. Extensión del Sistema Global para comunicaciones móviles (GSM) para la transmisión de datos mediante conmutación de paquetes.

GND: Ground. Conexión a masa o tierra.

HF: High frequency. Banda de espectro electromagnético que ocupa el rango de 3 MHz a 30 MHz.

ISM: Industrial, Scientific, Medical. Bandas de radiofrecuencia reservadas para uso no comercial en el área Industrial, Científico y Médico.

I2C: Inter-Integrated Circuit. Bus serie que se emplea en la comunicación entre partes de un circuito

Java: Lenguaje de programación de propósito general.

Key: Vocablo inglés utilizado en el proyecto, para definir a un carácter clave o llave, que sirve de aviso para realizar una rutina determinada.

LF: Low frequency. Banda de espectro electromagnético que ocupa el rango de 30 KHz a 300 KHz.

Librerías: Es un conjunto de subprogramas utilizados para el desarrollo de software, proporcionando un servicio a programas independiente y pasando a formar parte de ellos

Middleware: Software que asiste a una aplicación para interactuar o comunicarse con otras.

MMCX: denominación que se le da a un tipo determinado de conector para Antenas.

NTC: Negative Temperature Coefficient. Tipo de termistor que al subir la temperatura disminuye su resistencia.

Punto de congelación: Temperatura a la que el producto comienza a sufrir efectos de congelación.

Palé o palet: Armazón de madera o plástico empleado para el movimiento de cargas

Read: Proceso en la comunicación entre el lector y las etiquetas RFID, en el que estas envían sus datos de memoria.

Readers: Vocablo ingles con el que nos referimos al Lector o Interrogador RFID

Relé: Dispositivo electromagnético que, estimulado por una corriente eléctrica, abre o cierra un contacto.

RFD: Reduced Function Device. Denominación en Zigbee para los dispositivos con funciones reducidas, también denominados nodos pasivos

RFID: Radio Frequency Identification. Tecnología de identificación por radio frecuencia.

RS 232: Interfaz que define una norma para el intercambio de datos entre dispositivos electrónicos.

RTC: Real Time Clock. Acrónimo del reloj de tiempo real.

RX: En las denominaciones del cableado se refiere a la señal de recepción.

SDA: En el bus de dos hilos I2C, es por él que se transmite la información.

SDL: En el bus de dos hilos I2C, es por él que se transmite la señal de reloj.

Setpoint: Palabra inglesa utilizada en refrigeración para referirse el punto de consigna, o valor de temperatura por debajo del cual el equipo debe dejar de producir frío.

Select: Proceso en la comunicación entre el lector y las etiquetas RFID, en el que el primero establece comunicación con una etiqueta determinada.

SIM: Subscriber Identity Module. Módulo de identificación del abonado. Tarjeta empleada en teléfonos y modems que almacena la clave de servicio del cliente empleado para identificarse en la red.

Sketch: Programa para los dispositivos Arduino con extensión punto ino.

Histéresis: Valor diferencial que sumado a la temperatura del punto de consigna, nos da el valor de temperatura de arranque para los equipos de refrigeración.

Tags: Palabra inglesa utilizada para referirse a las etiquetas RFID.

Temperatura de evaporación: Temperatura a la que el gas refrigerante se evapora en el interior del evaporador.

TX: En las denominaciones del cableado y pines de conexión se refiere a la señal de transmisión.

QoS: Calidad de Servicio. Rendimiento promedio de una red, desde el punto de vista del usuario de esa red

UHF: Ultra High Frequency. Banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 300 Mhz a 3 Ghz.

USB: Universal Serial Bus. Bus estándar industrial que define los cables, conectores y protocolos para comunicar y proveer alimentación eléctrica entre periféricos.

WLAN: Wireless Local Area Network. Red de tipo local cuyos dispositivos no necesitan estar vinculados por cables.

WPAN: Wireless Personal Area Network. Acrónimo de las redes de área personal, que son aquellas para la comunicación de dispositivos periféricos cercanos al punto de acceso.

Wifi: Tecnología de comunicación inalámbrica más común actualmente y que permite conectar a todo tipo de dispositivos a Internet.

Wimax: WorldWid Interoperability for Microwave Access. Protocolo o norma de transmisión de datos que utiliza las ondas de radiofrecuencia.

Xbee: Pequeño dispositivo inalámbrico que permiten la conexión entre dispositivos empleando el protocolo IEEE 802.15.4

XbeeShield: Tarjeta sobre la que puede alojarse el Xbee y acoplarlo directamente a un dispositivo Arduino.

Zigbee: Protocolo de comunicación inalámbrica para radiodifusión digital.

## 6. Bibliografía

- [1] Dana Gunders, Wasted: How America Is Losing Up to 40 Percent of Its Food from Farm to Fork to Landfill, NRDC Issue Paper, Agosto 2012 iP:12-06-B
- [2] HLPE informes, Las pérdidas y el desperdicio de alimentos en el contexto de sistemas alimentarios sostenibles, <http://www.fao.org/3/a-i3901s.pdf>, 2014.
- [3] Ruiz García, Luis y Barreiro Elorza, Pilar. Control de la temperatura en el transporte de alimentos mediante sistemas RFID."Fruturá", pp. 1-2, 2009.
- [4] Application of RFID Technology for Logistics on Internet of Things. 2012 AASRI Conference on Computational Intelligence and Bioinformatics. Chunling Sun\* School of Information Science and Technology Heilongjiang University 'harbin,150080, china.
- [5] Estudio de Impacto del Uso de la Tecnología RFID en la Eficiencia de la Cadena de Suministro. Dirección General de Transportes. Gobierno de Navarra.24 marzo 2011.
- [6] Estudio, diseño y simulación de un sistema RFID, basado en EPC. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3552/40883-2.pdf?sequence=2>. Ultimo acceso 17/10/2016.
- [7] La situación de las Tecnologías WLAN basadas en el estándar IEEE 802.11 y sus variantes ("Wi-Fi"). Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación Grupo de Nuevas Actividades Profesionales. 2004
- [8] Redes Inalámbricas. Carlos Varela Luis Domínguez Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática Universidad de Valladolid. 2002.
- [9] Estado Actual de las comunicaciones. Jordi Mayne. Ingeniero de Aplicaciones. Silica. 2005.
- [10] A Comparison of WirelessHART™ and ISA100. 11a. Mark Nixon. Emerson Process Management 1100 W. Louis Henna Blvd., Bldg I Round Rock, TX, USA 78681-7430. 2014.
- [11] La Logística del Frío Negativo, particularidades y dificultades. Autor: Carmen Carolina Marengo Martínez. Universidad de Valladolid. Escuela de Ingenierías Industriales. 2015
- [12] Dirección de Seguridad e Higiene Alimentaria. La cadena de frío, elemento clave en seguridad alimentaria.2011. URL: [http://www.seguridadalimentaria.posadas.gov.ar/index.php?option=com\\_content&view=article&id=83%3Acadenafrio&catid=20%3Ainformacionelboradores&Itemid=2](http://www.seguridadalimentaria.posadas.gov.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=83%3Acadenafrio&catid=20%3Ainformacionelboradores&Itemid=2). Ultimo acceso 13/10/2016.

[13] Logística en la cadena de frío. H Navarro - Revista Zona Logística, 2013 - procolombia.co

[14] Food Cold Chain Management and Optimization. PS Taoukis, E Gogou, T Tsironi, M Giannoglou... -Emerging and Traditional Technologies for Safe, ..., 2016 – Primavera

[15] Refrigeración y congelación de alimentos vegetales. JA Muñoz-Delgado, AM Vicente. 1985. files.chefsita-a-la-orden.webnode.es.

[16] Refrigeración y congelación de alimentos vegetales. JA Muñoz-Delgado, AM Vicente. 1985. files.chefsita-a-la-orden.webnode.es

[17] Poscosecha de las flores cortadas. Manejo y recomendaciones. Michael S Reid. Universidad de California Davis. Traducción de Marta Pizano. Web [ucanr.edu/datastoreFiles/234-2624.pdf](http://ucanr.edu/datastoreFiles/234-2624.pdf) . Último acceso 16/10/2016

[18] A simulation approach for optimal design of RFID sensor tag-based cold chain systems Yong-Shin Kang a, Heeju Jin b , Okhyun Ryou c , Yong-Han Lee b. Journal of Food Engineering 113 (2012) 1–10

[19] A novel deployment of smart cold chain system using 2G-RFID-Sys Yu-Yi Chen a, Yao-Jen Wang b, Jinn-Ke Jan. Journal of Food Engineering. 2014.

[20] Temperatura Cinética Media en los estudios de estabilidad a largo plazo y almacenamiento de los medicamentos. GALLARDO C., Cecilia; ROJAS C., Jhon J.; FLÓREZ A., Oscar A. Vitae, vol. 11, núm. 1, 2004, pp. 67-72 Universidad de Antioquia Medellín, Colombia.

[21] RT0005 UHF semi-passive logger Tag TECHNICAL INFORMATION MANUAL Revisión 03 - 11 July 2014.

[22] A927Z UHF semi-passive logger Tag TECHNICAL INFORMATION MANUAL Revisión 02 – 25/03/2013.

[23] Serialized TID Numbers – A Headache or a Blessing for RFID Crackers? Mikko Lehtonen , Antti Ruhanen Florian Michahelles, and Elgar Fleisch. I University of St.Gallen, Institute of Technology Management, 9000 St. Gallen, Switzerland, [elgar.fleisch@unisg.ch](mailto:elgar.fleisch@unisg.ch)

[24] Datasheet AS9392 UHF RFID Single Chip Reader EPC Class1 Gen2 [www.austriamicrosystems.com/AS3992](http://www.austriamicrosystems.com/AS3992) Revision 1.1 1 - 53 D  
Última visita 1/11/2016

[25] Arduino Mega 2560 Datasheet.  
<http://www.robotshop.com/media/files/PDF/ArduinoMega2560Datasheet.pdf>  
Última visita 1/11/2016.

- [26] Xbee Manual.  
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zigbee/XBee-Manual.pdf>  
Última visita 2/11/2016.
- [27] <http://www.fqingenieria.com/es/productos/lectores-y-grabadores-antenas-multiplexores-tags-bajo-normativas-epc-gen-2-y-iso18000-6-frecuencia-uhf-247531#sub>  
Última visita 3/11/2016.
- [28] [https://www.sunfounder.com/wiki/index.php?title=I2C\\_LCD2004](https://www.sunfounder.com/wiki/index.php?title=I2C_LCD2004)  
Última visita 18/12/2016.
- [29] GS1 EPC Tag data standard Version 1.9, Ratified, Nov 2014. Version pdf
- [30] Specification for RFID Air Interface. EPC Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation 2 UHF RFID. Protocol for Communications at 860 Mhz- 960 Mhz version 1.2.0
- [31] <https://www.arduino.cc/en/Reference/HomePage>  
Última visita 6/01/2017
- [32] <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/Sketch>  
Última visita 17/12/2016
- [33] [rafabeatriu.blogspot.com/2014/05/hoja-de-calculo-para-camaras.html](http://rafabeatriu.blogspot.com/2014/05/hoja-de-calculo-para-camaras.html)  
Última visita 30/12/2016
- [34] <https://drive.google.com/open?id=0B3r7EnLf37ioMFBaNmJcVJFLWc>  
Última visita 7/01/2017
- [35] TTL UART/USB Long Range UHF RFID reader Module (ISO18000-6CEPCG2) UART Protocol .pdf. Agosto 2011. LinkSprite Technologies Inc
- [36] [http://wiki.seeed.cc/Relay\\_Shield\\_v3/](http://wiki.seeed.cc/Relay_Shield_v3/)  
Última visita 6/01/2017
- [37] SN8S0A1500\_NTC\_Steel\_Tube\_-\_Replaced\_by\_SN8DAE11502C0.pdf  
<http://www.eliwell.it/home/>
- [38] [http://www.uib.cat/depart/dfs/GTE/education/industrial/tec\\_electronica/teoria/termistores\\_NTC\\_1.pdf](http://www.uib.cat/depart/dfs/GTE/education/industrial/tec_electronica/teoria/termistores_NTC_1.pdf)  
Última visita 3/03/2017
- [39] <http://www.prometec.net/gprs-llamar-enviar-sms/>  
Última visita 6/01/2017
- [40] [gprs-shield-sld33149p.pdf](http://www.robotshop.com/media/files/gprs-shield-sld33149p.pdf)  
<http://www.robotshop.com/media/files/>

Última visita 6/01/2017.

[41] [http://www.geeetech.com/wiki/index.php/Arduino\\_GPRS\\_Shield](http://www.geeetech.com/wiki/index.php/Arduino_GPRS_Shield)

Última visita 6/01/2017.

[42] DS1307.pdf

<https://datasheets.maximintegrated.com/>

Última visita 2/01/2017.

[43] <https://www.arduino.cc/en/Reference/EEPROM>

Última visita 5/01/2017.

[44] Processing: A Programming Handbook for Visual Designers, Second Edition. Casey Reas and Ben Fry. Published December 2014, The MIT Press. 720 pages. Hardcover.

[45] <https://processing.org/reference/>

Última visita 7/01/2017.

[46] <http://www.sojamo.de/libraries/controlP5/>

Última visita 7/01/2017.

## 7. Anexos

### 7.1 Conocimientos sobre EPCGlobal Generación 2.

El dispositivo BeeReader tiene como función el acceso a la memoria de usuario de las etiquetas semipasivas, de donde extrae los datos de temperatura almacenados, o modificaremos los parámetros de control. Al ser los Tags compatibles con el estándar EPC Gen 2, emplearemos las directrices de este protocolo para realizar la comunicación y determinar a que tendremos acceso y de qué forma, aunque antes hay que definir algunos elementos que caracterizan esta tecnología.

El EPC (Electronic Product Code) fue creado por la organización EPCGlobal, consorcio formado por EAN Internacional (European Article Numbering), y se trata de un número único que identifica un determinado objeto, teniendo una estructura igual al EAN-13, usado para los códigos de barras. La única diferencia importante con estos, es que el EPC añade un campo más, el número de serie, que permite diferenciar dos productos del mismo género [29].

ESTRUCTURA EPC (96 bits)			
21	AAAA01	F551	AA00F2AAF
Header	EPC Manager	Object Class	Serial Number
b <sub>95</sub> ... b <sub>88</sub>	b <sub>87</sub> ... b <sub>60</sub>	b <sub>59</sub> ... b <sub>36</sub>	b <sub>35</sub> ... b <sub>0</sub>
8 bits	28 bits	24 bits	36 bits
Versión del protocolo	Organización o fabricante del producto	Clase de objeto o tipo de producto	Numero de Serie único que distingue dos productos de la misma clase
Asignados por EPCGlobal consortium		Asignados por el fabricante	

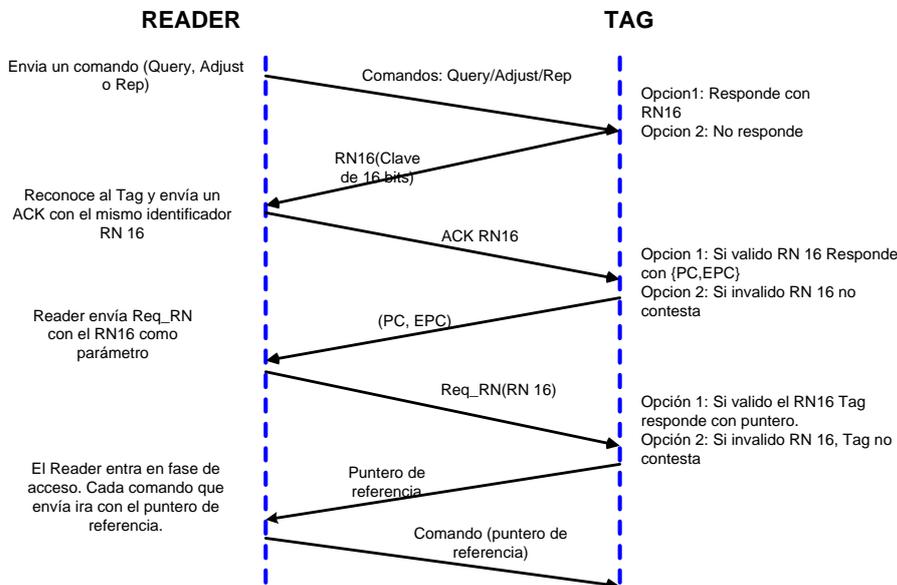
Tabla 25. Estructura del identificador EPC (Electronic Product Code).

El EPCGlobal Clase 1 Generación 2 es el protocolo Half Duplex que regula la compatibilidad entre los dispositivos RFID UHF a nivel mundial. En él se define entre otras cosas, como debe ser la comunicación entre el lector y las Etiquetas. En esta comunicación hay tres etapas diferenciadas, cada una de ellas con sus correspondientes comandos:

- Inventario (Inventory). Es un proceso que realiza el Reader o Interrogador para conocer las Etiquetas que se encuentran en su radio de acción, según unos criterios definidos por el usuario. Se trata de una operación previa a la selección y acceso
- Selección (Select). En este proceso el Interrogador comienza una comunicación con uno o más Tags enviando un Query, para solicitar de mutuo acuerdo su identificador.

- Acceso (Access). En esta operación el Lector consigue el acceso a la memoria reservada de la Etiqueta, pudiendo leer sus datos o modificarlos.

En la Ilustración 46 se puede observar el proceso de comunicación entre Interrogador y la Etiqueta, en la que primero se realiza una etapa de Inventario como paso previo a una de acceso [30].



**Ilustración 46. Comunicación entre el Interrogador y la Etiqueta en la etapa de Inventario y Acceso.**

## 7.2 Etiquetas Analizadas con el Sistema.

Los Tags elegidos para este proyecto son de la marca italiana CAEN RFID, especiales para monitorizar la trazabilidad de productos en la Cadena de Frío, son dos modelos diferentes el EASYLOG2 RT0005 y el A927Z. Se trata de etiquetas semipasivas operando en UHF, con capacidad para el registro de datos de temperatura. El hecho de utilizar dos modelos distintos, es simplemente, para probar cuál de ellas se adaptaba mejor a las condiciones de trabajo y presentaba valores más altos de versatilidad con las características del lector implementado.

### 7.2.1 Etiqueta EASYLOG2 RT0005.

Las principales características técnicas están reflejadas en la tabla 25, pero a nivel general, podemos resaltar de este modelo de etiqueta, además de ser semipasiva y operar en banda UHF, es:

- Su alta precisión en los valores de temperatura medidos.
- La rapidez en la descarga de las muestras tomadas.

- Disponer de un botón para comprobaciones y Led para inspección rápida, tanto de funcionamiento como de niveles de batería.
- La amplia capacidad de monitorización y registro.
- El hecho de ser compatible con EPCGlobal C1 G2 e ISO 18000-6C.
- Poseer memoria suficiente para almacenar muestras de temperatura con intervalos ajustables de 1 a 18 horas, programables por el usuario ó responsable.
- Posibilidad de definir el usuario hasta 16 umbrales independientes de Alarma.
- Funcionamiento con múltiples antenas.
- Posibilidad de elaboración de histogramas de temperatura.
- Realización de cálculo MKT (Mean Kinetic Temperature).
- Función de cálculo de tiempo de caducidad del producto
- Ideal para la Cadena de Frío, tanto productos frescos o congelados, como industria química o farmacéutica, etc.



easy2log®

**Ilustración 47. Tag CAENRFID EASYLOG2 RT0005**

Dentro de las características especiales a comentar, que ofrece esta Etiqueta con respecto a otras, está la posibilidad por parte del usuario de habilitar la recogida de datos para elaborar hasta 16 márgenes de histograma distintos, programando el usuario los límites superior e inferior que lo componen, de esta forma se podrá documentar de forma gráfica la evolución térmica del producto.

Otra posibilidad que ofrece, es el cálculo del MKT (Mean Kinetic Temperature), un parámetro internacionalmente aceptado para definir las condiciones de temperatura en los estudios de estabilidad a largo plazo. Por lo tanto, la Temperatura Media Cinética, es el valor de la temperatura media ponderada, al que ha estado sometido un producto en un determinado espacio de tiempo, durante el estudio de trazabilidad realizado en su distribución. Este valor calculado, si está dentro de unos límites, sirve para determinar que el producto ha respetado las condiciones impuestas por el fabricante durante su transporte y almacenaje [20].

Características	Valores
Interfaz RFID	UHF EPC Class1 Gen2/ISO 18000-6C
Rango de frecuencias	860 a 928 Mhz
Rango de Lectura	10 metros
Rango de Temperatura	-20 a +70
Código EPC	512 bits
Capacidad de Memoria	4 K muestras (8 Kbits)
Memoria de Usuario	512 bits
Intervalo tiempo de monitorización	5 años
Precisión temperatura	+/- 0,5
Precisión de tiempo	<0,01% error
Tiempo de uso típico	1 año
Tiempo típico de almacenamiento	6 meses
Modelo batería	Li / MnO2 Modelo Renata CR 2450N
Tiempo de vida de la batería	1 año (según uso)
Dimensiones	107*107*6,3 Mm
Grado de protección del envoltorio	IP67
Supervisión estado carga de batería	Por RF( radio-frecuencia) ó manual

**Tabla 26. Especificaciones técnicas del Tag CAENRFID EASYLOG2 RT0005.**

También permite el cálculo del tiempo de caducidad o vida útil, establecido a través de una aproximación lineal del algoritmo de Arrhenius cada vez que realiza un muestreo de temperatura, determinando la velocidad de deterioro de un alimento perecedero con una función exponencial de la temperatura [21].

El código EPC (Electronic Product Code) es el número único que identifica al Tag y está compuesto de tres partes numéricas, siguiendo un orden desde el bit más significativo al de menor significado, el prefijo de CAEN (el fabricante), tipo de objeto y el número de serie. También dispone de otro número especial el TID (Transponder ID), número serializado, dividido en varios campos ordenados de mayor a menor significado, conteniendo un identificador de su clase, otro de su diseño de máscara, número de modelo del chip, 32 bits de número de serie, ensamblado y revisión del chip [21]. El identificador TID no proporciona ninguna protección criptográfica, sino que se incluye como un obstáculo para aquellos que se dediquen a clonar etiquetas [23].

### **7.2.2 Etiqueta EASYLOG2 A927Z.**

Al igual que el modelo anterior, con el que comparte muchas características, como veremos en la tabla 27, es una etiqueta UHF semipasiva, de bajo coste con una construcción sólida a prueba de golpes, de alta precisión, poseedora de capacidad para registrar la temperatura y el nivel de batería, con un tamaño importante de memoria que la hacen ideal para la monitorización en periodos largos de productos perecederos.

Dispone de un menor número de funcionalidades con respecto al modelo RT0005, compartiendo con este los periodos de muestreo programables, de 8 segundos a 18 horas así como la programación de alarmas de baja y alta temperatura, pero sin las funcionalidades especiales del anterior modelo, histogramas, MKT y cálculo de vida útil del producto.

Características	Valores
Interfaz RFID	UHF EPC Class1 Gen2/ISO 18000-6C
Tipo de Etiqueta	semipasiva
Rango de frecuencias	860 a 928 Mhz
Rango de Lectura	10 metros
Tamaño memoria reservada	512 bits
Rango de Temperatura	-30 a +70
Tamaño Código EPC	512 bits
Tamaño TID	208 bits
Tamaño memoria usuario	17484
Control de acceso	si
Retención de memoria	100 años
Resolución	+0,1
Batería tipo	Li/MO2 Modelo Renata
Tiempo de batería	3 años, según condiciones
Dimensiones	130,4*23,4*12,7 Mm
Grado de protección del envoltorio	IP67
Supervisión estado carga de batería	Solo RF( radio-frecuencia)

**Tabla 27. Especificaciones técnicas de la Etiqueta CAEN RFID EASYLOG2 A927Z**

Como diferencias fundamentales a su favor están, el disponer de mayor capacidad de memoria, siendo posible acumular hasta 8192 muestras de datos, así como la estructura rígida que le permitirá absorber vibraciones y pequeños golpes. De la misma forma que almacena datos de temperatura, también dispone de un área de registro de datos de batería, permitiendo un control absoluto de esta, con el fin de alargar la vida útil de la etiqueta. Puede ser empleado en múltiples monitorizaciones ya que dispone de función de reinicio, siendo por lo tanto la reutilización, una de característica que le confiere un alto grado de rentabilidad. En cuanto al código EPC y TID comparte las mismas características y especificaciones que la etiqueta anterior.



**easy2log®**

**Ilustración 48. Etiqueta CAEN RFID EASYLOG2 A927Z.**

