



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Sistema de telemetría para supervisión del nivel de los
depósitos de agua de la ENM*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Alejandro Ameneiro Hernández de Armijo

DIRECTOR: Jose María Núñez Ortuño

CURSO ACADÉMICO: 2016-2017

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Sistema de telemetría para supervisión del nivel de los
depósitos de agua de la ENM*

Grado en Ingeniería Mecánica

Intensificación en Tecnología Naval

Cuerpo General

Universidade de Vigo

RESUMEN

El presente TFG trata sobre la implementación de un sistema de telemetría para los depósitos de agua de la Escuela Naval Militar. El sistema permitirá obtener información del nivel de líquido contenido en los tanques, enviará esta información por enlace radio a una unidad receptora, y se procesará la información recibida con la finalidad de obtener datos estadísticos sobre los consumos de agua de la ENM. Este proyecto permitirá detectar problemas, como pérdidas, y cuantificarlas.

El sistema constará de un sensor que tomará las lecturas, integrado en una placa procesadora, que recopilará los datos obtenidos, generará los paquetes de datos con dicha información y la enviará mediante un enlace de radio hasta la unidad de registro remota. Esta unidad receptora, se encargará de recibir, procesar y almacenar la información recibida.

La información recibida y almacenada, permite el estudio y cuantificación de los niveles de agua por períodos horarios, permitiendo detectar las horas de mayor y menor actividad, los picos de consumo, los consumos diarios, etc, de los que podrán obtenerse algunas conclusiones.

PALABRAS CLAVE

Telemetría, ultrasonidos, sensores, radioenlace, consumo de agua.

AGRADECIMIENTOS

A la todo el personal de la oficina de mantenimiento de la Escuela Naval, en particular al CC Don Luis Felipe Carrascosa López, por compartir su tiempo con nosotros y atendernos siempre que ha sido necesario, y al marinero Martín, por su optimismo, dedicación y permanente disponibilidad, fundamentales para hacer posible la realización del proyecto, a pesar de lo apretado del calendario.

A mis tutores académicos, la profesora Doña Rosa Devesa y el TN Don Salvador Omil, por acompañarnos estos cinco años, tanto a mí como al resto del G1. Habéis sido un auténtico apoyo cuando los resultados no nos eran favorables, y también una persona más con la que celebrar nuestros éxitos. Gracias a ambos.

A Tere, por aguantar mis eternas divagaciones sobre los altibajos del proyecto, siempre con una sonrisa y escuchando con atención.

Por último, al profesor Don Jose María Núñez Ortuño por su dedicación y ayuda durante el desarrollo de todo el trabajo, poniendo horas de su tiempo libre para llevar a buen puerto la realización de este proyecto.

CONTENIDO

Contenido.....	1
Índice de Figuras.....	3
Índice de Tablas.....	7
1 Introducción y objetivos	9
1.1 Motivación.....	9
1.2 Objetivos	9
1.3 Estructura de la memoria.....	10
2 Estado del arte.....	11
2.1 Introducción histórica.....	11
2.2 Descripción de un sistema genérico	13
2.2.1 Introducción	13
2.2.2 Métodos de medición.....	13
2.2.3 Métodos de transmisión y registro de datos.....	20
2.3 Sistemas de medición y registro de nivel de líquidos	22
3 Sistema propuesto	25
3.1 Requisitos del sistema	25
3.1.1 Requisitos operativos	25
3.1.2 Requisitos ambientales.....	26
3.1.3 Requisitos de alimentación	26
3.1.4 Otros requisitos	26
3.2 Diseño hardware y software	26
3.2.1 Sensor s3nar	27
3.2.2 Procesador de datos.....	28
3.2.3 Transmisión de datos	30

3.2.4 Recepción y procesado de datos	33
4 Desarrollo del proyecto.....	35
4.1 Estudio de los depósitos de agua de la ENM	35
4.2 Calibración del sensor y verificación de su resolución	40
4.3 Simulación y verificación del radioenlace	42
4.4 Programa principal de envío de datos	45
4.4.1 Sistema de envío de datos	45
4.4.2 Lectura del sensor	45
4.5 Definición de la trama de datos	46
4.6 Programa de recepción y almacenamiento de datos.....	47
4.7 Procesado estadístico de datos off-line	48
5 Pruebas y resultados	49
5.1 Descripción de las pruebas realizadas	49
5.2 Presentación e interpretación de los datos obtenidos	50
5.2.1 Pruebas en días lectivos	51
5.2.2 Pruebas en días no lectivos	52
5.3 Principales conclusiones.....	54
5.4 Mejoras y líneas futuras	54
6 Bibliografía	57
Anexo I: Características del sensor.....	61
Anexo II: Características de las antenas	63
Anexo III: Código de programación en Waspote	65
Anexo IV: Código de programación en Processing	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 2.1-1 Egipcio midiendo el fondo mediante una pértiga (izquierda) [1]	11
Ilustración 2.1-2 Clepsydra [2]	12
Ilustración 2.1-3 Ejemplos de ánforas romanas [3]	12
Ilustración 2.2-1 Diagrama de bloques de un sistema genérico de telemetría	13
Ilustración 2.2-2 Regla graduada en los depósitos de la ENM	14
Ilustración 2.2-3 Plomada [4]	14
Ilustración 2.2-4 Varilla de medición [5]	15
Ilustración 2.2-5 Cristal de medición [6] (modificada)	15
Ilustración 2.2-6 Flotador [7]	16
Ilustración 2.2-7 Medición por ultrasonidos [8]	16
Ilustración 2.2-8 Sensor radar [9]	17
Ilustración 2.2-9 Sensor resistivo [10] (modificada)	17
Ilustración 2.2-10 Medidor de nivel por presión [11] (modificada)	18
Ilustración 2.2-11 Sistema de burbujeo [8]	18
Ilustración 2.2-12 Esquema de montaje de un sensor capacitivo [12]	19
Ilustración 2.2-13 Sistema conductivo [13]	19
Ilustración 2.2-14 Radiomódem RipEX-400 [14]	20
Ilustración 2.2-15 Radiomódem TK714U [14]	21
Ilustración 2.2-16 Radio módulo APC220 [14]	21
Ilustración 2.3-1 Equipo NV2000 de la empresa Coltech [15]	22
Ilustración 2.3-2 Equipo SU20 de la empresa Coltech [15]	23
Ilustración 2.3-3 Sistema OCIO de la empresa PIUSI [16]	23
Ilustración 3.2-1 Diagrama de bloques del sistema propuesto	26
Ilustración 3.2-1 Sensor Sonar LV-MaxSonar-EZ MB1030 de la empresa MaxBotics [17]	27

Ilustración 3.2-2 Rango cero de medición [17]	28
Ilustración 3.2-3 Selección de pines del sensor LV-MaxSonar-EZ MB1030 [17]	28
Ilustración 3.2-4 Parte delantera de la placa Waspote [18]	29
Ilustración 3.2-5 Montaje del módulo XBee sobre el Radio Socket 0 [18]	29
Ilustración 3.2-6 Ranuras I/O de la placa Waspote [18]	30
Ilustración 3.2-7 Parte posterior de la placa Waspote [18]	30
Ilustración 3.2-8 Antena TL-ANT2409 [19]	31
Ilustración 3.2-9 Módulo XBee-PRO S2B ZB [20]	31
Ilustración 3.2-10 Diagrama de funcionamiento del programa	32
Ilustración 3.2-11 Pasarela <i>Waspote Gateway</i> con el módulo XBee-ZB [18]	33
Ilustración 3.2-12 Diagrama de funcionamiento del programa de recepción de datos	34
Ilustración 4.1-1 Posición geográfica de los depósitos [21] (modificada)	35
Ilustración 4.1-2 Bloques de depósitos de la ENM [21]	36
Ilustración 4.1-3 Depósitos 1 y 2	37
Ilustración 4.1-4 Dimensiones principales del depósito 2, <i>Sección 1</i> .	38
Ilustración 4.1-5 Sección 1	38
Ilustración 4.1-6 Dimensiones principales de la <i>Sección 2</i>	39
Ilustración 4.1-7 Sección 2	39
Ilustración 4.1-8 Dimensiones de las columnas	40
Ilustración 4.2-1 Pruebas de calibración del sensor	41
Ilustración 4.3-1 Visión general del enlace	43
Ilustración 4.3-2 Mapa de cobertura desde el umbral de sensibilidad	43
Ilustración 4.3-3 Parámetros de la simulación del enlace	44
Ilustración 4.3-4 Margen de cobertura	44
Ilustración 4.5-1 Composición genérica de las tramas enviadas por el sistema [25] (modificada)	47

Ilustración 4.7-1 Ejemplo de levantamiento de gráficas usando los datos obtenidos	48
Ilustración 5.1-1 Montaje placa-antena	49
Ilustración 5.1-2 Montaje del sensor	50
Ilustración 5.4-1 Diagrama de radiación del sensor [15]	61
Ilustración 5.4-1 Diagrama de radiación de la antena [19]	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.2-1 Características del módulo XBee-PRO S2B ZB	32
Tabla 4.2-1 Características del sensor LV-MaxSonar-EZ MB1030	41
Tabla 5.2-1 Resultados en días lectivos.....	51
Tabla 5.2-2 Consumo en 24h en días lectivos	51
Tabla 5.2-3 Consumo nocturno en días de diario	52
Tabla 5.2-4 Resultados en días no lectivos.....	52
Tabla 5.2-5 Consumo en 24h en días no lectivos	53
Tabla 5.2-6 Consumo nocturno en días no lectivos.....	54

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Motivación

La Escuela Naval Militar de Marín (ENM) es un centro de estudios y hogar de cientos de alumnos que aspiran a ser Oficiales de la Armada. Es por esto que se requiere una gran infraestructura para cubrir todas las necesidades, no solo de los alumnos, sino de todo el personal que trabaja a su disposición.

Una de las necesidades básicas más importantes a la que la ENM debe hacer frente es el suministro de agua. Para ello cuenta con unos tanques propios, que le proporcionan la capacidad de autoabastecerse.

La realización de este trabajo surge como respuesta a la necesidad de establecer una monitorización sobre el consumo de agua, y obtener datos estadísticos que puedan ser de interés para la Escuela Naval y ayuden a entender las pautas de dicho consumo, como por ejemplo descubrir si existen pérdidas en los depósitos o en la red de suministro.

1.2 Objetivos

El objetivo del presente TFG es la instalación, en la Escuela Naval Militar, de un sistema de telemetría para medir, transmitir y almacenar datos sobre el nivel de los depósitos de agua. Para ello será necesario:

- Obtener el dato de nivel de agua.
- Transmitir periódicamente el dato de nivel.
- Recibir dicha información en una ubicación remota.
- Almacenar la información para su posterior uso.

Como objetivo secundario, se plantea la obtención de ciertos estadísticos y pautas de consumo diarios, en días laborales y en días festivos, determinando cual es la demanda de agua en función del momento del día, horas de mayor y menor consumo, consumos máximos y mínimos, y consumo medio diario.

1.3 Estructura de la memoria

El apartado [1] corresponde a la introducción, en la cual se ha presentado el proyecto y los objetivos que pretende alcanzar.

A continuación, en el apartado [2], titulado “Estado del Arte”, se pone en contexto el trabajo. Se introduce el tema con una pequeña aportación histórica sobre la evolución de los sistemas de medida de contenedores de líquidos [2.1]. En el apartado [2.3] se exponen los componentes que ha de tener un sistema genérico similar al que se desea implementar, para luego detallar algunos de los sistemas que existen actualmente [2.2].

El apartado [3] detalla todos los elementos que componen el sistema propuesto, desde sus requerimientos [3.1] hasta las características de cada una de las partes [3.2]. Se definen los elementos que componen el sistema, justificando porqué se han seleccionado estos componentes, y pasando a detallar el modo de funcionamiento de cada una de las partes que componen el proyecto.

En el desarrollo del proyecto, apartado [4], se detalla el estudio previo de los depósitos de agua y los cálculos efectuados para conocer su volumen. También se exponen las pruebas de calibrado del sensor y sus resultado. En los puntos siguientes se pasa a detallar en profundidad cada una de las secciones comentadas en el apartado [3], centrándose más en los problemas surgidos durante la realización y montaje del sistema.

Para finalizar, en el apartado [5], se detallan las pruebas que se han realizado [5.1] y se presentan e interpretan los resultados obtenidos, resaltando los aspectos más importantes [5.2], para terminar exponiendo las conclusiones que se han sacado en base, al proyecto en general, y a los resultados obtenidos en particular [5.3].

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Introducción histórica

El ser humano tiene una necesidad innata de control de los elementos que tiene a su alcance. No es de extrañar entonces que hayamos desarrollado instrumentos y unidades de medida que nos permitan conocer, calcular y controlar la cantidad existente de algo.

Durante siglos se han empleado medios visuales como forma directa de medición, en aplicaciones tan sencillas como comprobar cómo de llena está una tinaja. Sin embargo, a medida que se han desarrollado nuevos elementos para usar como contenedores, y la necesidad de precisión en la medida ha aumentado, el hombre ha tenido que inventar objetos que le ayuden a conocer las cantidades contenidas. En lo referente a las medidas de líquidos, surgen sistemas como las pértigas [Ilustración 2.1-1], la plomada o las reglas graduadas, que ya empleaban los egipcios en el año 3500 A.C.



Ilustración 2.1-1 Egipcio midiendo el fondo mediante una pértiga (izquierda) [1]

Ktesibios, en el siglo III A.C. diseña un reloj de agua, conocido también como Clepsydra [Ilustración 2.1-2]. Las Clepsydras consistían en un mecanismo cuyo objetivo era que el nivel de un depósito de agua subiera con una velocidad constante. Para ello se utiliza un flotador que regulaba la

entrada de agua a un depósito auxiliar de manera que el nivel de este se mantenía constante y por lo tanto su caudal de salida al depósito principal.



Ilustración 2.1-2 Clepsydra [2]

Unos siglos mas tarde, durante el auge del Imperio Romano, entre el siglo I A.C. y el siglo II D.C., con el objetivo de comerciar con bienes tales como el vino o el aceite, se estandarizan tamaños de ánforas y, conocido el peso de estas, era posible medir, en peso, la cantidad de líquido contenida en las mismas [Ilustración 2.1-3].



Ilustración 2.1-3 Ejemplos de ánforas romanas [3]

Durante toda la Edad Media se empleó y perfeccionó el sistema que habían desarrollado los romanos, aportando mayor precisión tanto a los recipientes contenedores como a los elementos de medida. También se mejoraron otros sistemas tradicionales como la plomada, surgiendo así las primeras elaboradas con cable en lugar de cuerda.

Varios siglos más tarde, en 1917, John Gilbert Collison emplea un sistema con flotador para hacer el primer indicador de combustible en el depósito de un automóvil. La nueva necesidad de control de la cantidad de combustible propicia el desarrollo de nuevos sistemas, y la adaptación de otros ya existentes, como el oscilador eléctrico de Reginald Fessenden, inventado en 1914 (que con el tiempo se convertiría en el primer sensor sónico empleado para medir distancia) o el radar, de Christian Huelsmeyer, en 1904.

A partir de los 90 se convertirían en sistemas comerciales habituales, tanto los sensores sónicos, ya desarrollados y convertidos en sensores ultrasónicos, como los sistemas de medida radar,

especialmente en aplicaciones de control de sustancias peligrosas, como es el caso de las industrias química y petrolífera.

2.2 Descripción de un sistema genérico

2.2.1 Introducción

Un sistema de telemetría es aquel que permite la monitorización, mediación y/o rastreo de magnitudes físicas o químicas a través de datos que son transferidos a una central de control. Por ello, dentro de este tipo de sistemas se pueden diferenciar, de forma general, tres bloques: el primero es el bloque del sensor, que se compone del elemento a emplear para la toma de medidas; el segundo es el bloque procesador, encargado de recoger, almacenar y analizar la información obtenida del sensor para luego pasarla al tercer bloque, transmisión-recepción, en el cual la información se envía desde el lugar en el que ha sido tomada a una unidad de control remota para su posterior procesamiento [Ilustración 2.2-1].

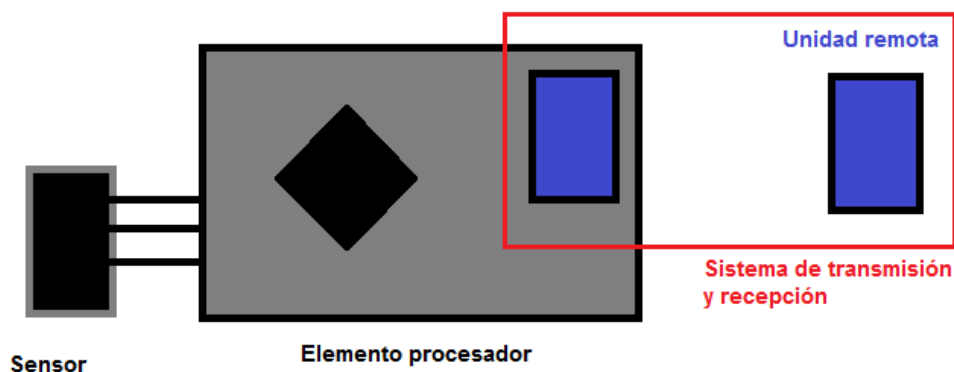


Ilustración 2.2-1 Diagrama de bloques de un sistema genérico de telemetría

2.2.2 Métodos de medición

Dentro del sistema, lo primero necesario para poder realizar una medición es disponer del sensor adecuado. Existen gran variedad de sensores y sistemas empleados para la medición del nivel de un líquido en un depósito, con características propias que los diferencian y los hacen más aptos para según que aplicaciones y tipo de líquido a medir.

Los medidores comerciales, generalmente, combinan varios métodos de los que se van a detallar en este apartado, con el objetivo de aprovechar cada una de las ventajas que presentan.

2.2.2.1 Métodos directos

Están basados en la medición directa de la altura del líquido en el interior del depósito. Algunos de estos métodos son:

- *Regla graduada:* El nivel se determina directamente leyendo la longitud de la regla mojada en el líquido; es el caso actual de los depósitos de la ENM [Ilustración 2.2-2].



Ilustración 2.2-2 Regla graduada en los depósitos de la ENM

- *Plomada o escandallo*: Consiste en un cabo, cadena o cable, con un peso en su extremo, sobre el cual se puede medir la profundidad leyendo directamente la longitud mojada del mismo [Ilustración 2.2-3].



Ilustración 2.2-3 Plomada [4]

- *Varilla de medición*: Es una varilla que, al ser insertada en el contenedor a medir, queda marcada por el líquido. Generalmente estas varillas están graduadas o tienen marcas que indican cual debe ser el nivel óptimo de líquido en el depósito, como es el caso del aceite en los motores [Ilustración 2.2-4].

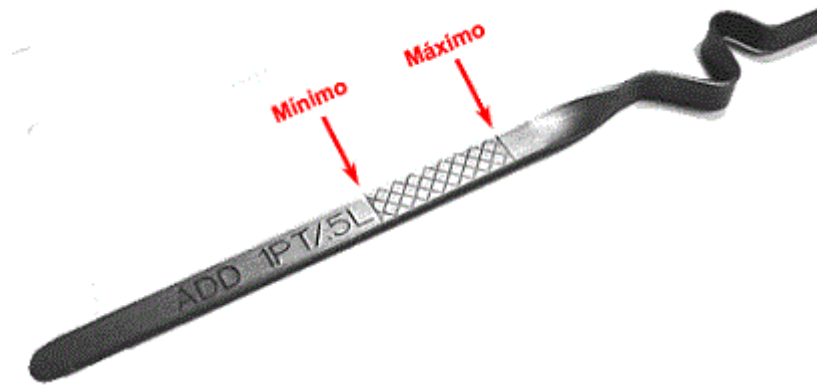


Ilustración 2.2-4 Varilla de medición [5]

- *Cristal de medición*: Consiste en la instalación de un tubo graduado, de vidrio o plástico transparente, entre dos llaves situadas en los extremos inferior y superior del depósito, de manera que se pueda medir visualmente el nivel del mismo [Ilustración 2.2-5].



Ilustración 2.2-5 Cristal de medición [6] (modificada)

- *Flotador*: Es una pieza que flota sobre el líquido en el interior del tanque, marcando siempre el nivel del mismo. El nivel al que está el flotador puede ser transmitido de muchas formas, ya sea mediante un contrapeso que marque el nivel en una escala, un imán que mueva una pieza metálica en el exterior o un circuito eléctrico que se cierre al llegar el flotador a un determinado nivel [Ilustración 2.2-6].



Ilustración 2.2-6 Flotador [7]

- *Ultrasonidos*: Un sensor emite una onda sonora y midiendo el tiempo que tarda en llegar hasta el líquido, rebotar y volver, calcula la distancia entre el sensor y el líquido. Conociendo la altura a la que está situado el sensor se obtiene el nivel del líquido [Ilustración 2.2-7].



Ilustración 2.2-7 Medición por ultrasonidos [8]

- *Radar*: Funciona con un principio prácticamente idéntico al sensor de ultrasonidos; se mide mediante señales de radar transmitidas desde la antena en la parte superior del tanque [Ilustración 2.2-8]. Una vez que la señal de radar se refleja en la superficie líquida, el eco es captado por la antena. Dado que la señal varía en frecuencia, el eco tiene una frecuencia ligeramente diferente a la de la señal transmitida en ese momento. La diferencia de

frecuencia es proporcional a la distancia al líquido, lo que permite calcularla con precisión.

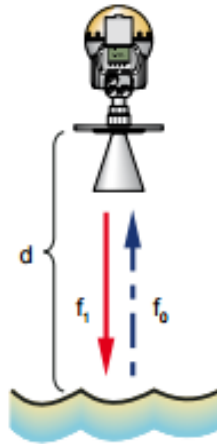


Ilustración 2.2-8 Sensor radar [9]

- *Resistivo*: La cubierta del sensor es comprimida por la presión hidrostática del fluido en el cual está inmerso. Esto provoca un cambio en la resistencia que se corresponde con la distancia que hay desde la parte superior del sensor hasta la superficie del fluido. La resistencia del sensor es inversamente proporcional a la altura del líquido [Ilustración 2.2-9].

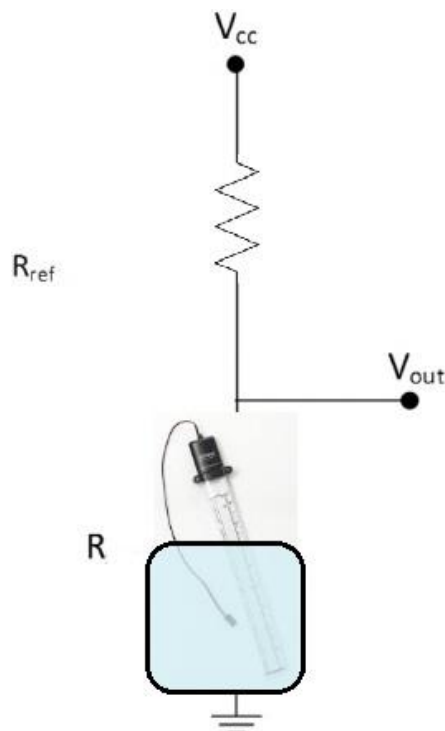


Ilustración 2.2-9 Sensor resistivo [10] (modificada)

2.2.2.2 Métodos hidrostáticos

Son aquellos basados en la presión ejercida por la columna de líquido, que dependerá del nivel, la densidad del mismo y la presión atmosférica.

- *Por nivel de presión:* Consiste en la instalación de un medidor de presión relativa en el fondo del tanque, de manera que conocida la densidad del líquido, se pueda saber el nivel [Ilustración 2.2-10].

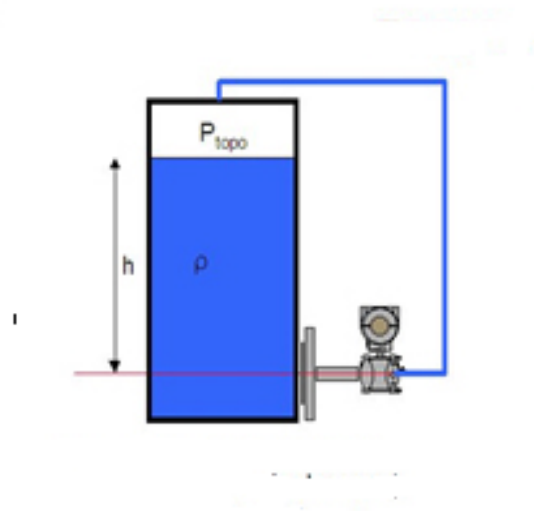


Ilustración 2.2-10 Medidor de nivel por presión [11] (modificada)

- *Por nivel de burbujeo:* Este método utiliza una fuente de aire o algún gas inerte conectado mediante un estrechamiento a un tubo inmerso a una altura determinada del depósito [Ilustración 2.2-11]. El estrechamiento reduce el flujo de aire a una cantidad muy pequeña. A medida que aumenta la presión, se van formando burbujas al final del tubo. En este punto, se mantiene constante la presión. A medida que el nivel de líquido varía, se produce también una variación en la presión del aire en el tubo, y esta variación la mide un sensor situado en la parte superior del mismo.

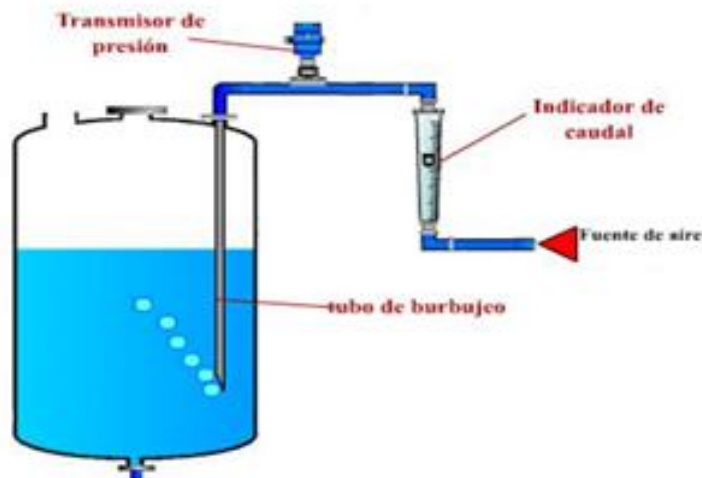


Ilustración 2.2-11 Sistema de burbujeo [8]

2.2.2.3 Por propiedades eléctricas

- *Capacitivos*: Sus sistema de funcionamiento se basa en la diferencia entre la constante dieléctrica del líquido y la del aire [Ilustración 2.2-12]. Midiendo la cantidad de carga eléctrica con una sonda se puede establecer la altura del líquido.

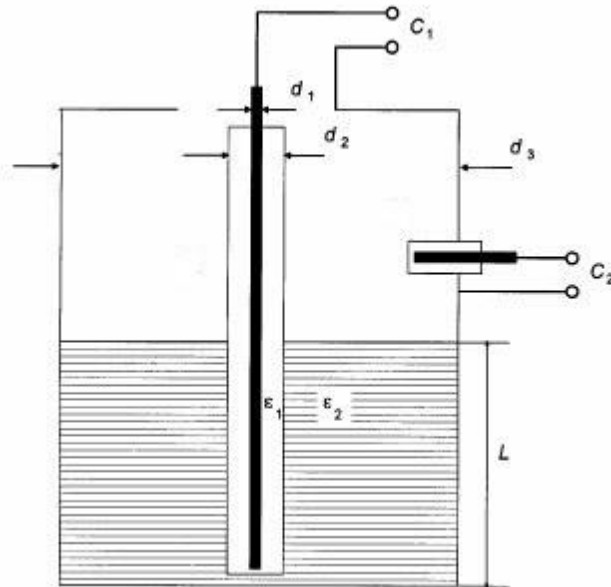


Ilustración 2.2-12 Esquema de montaje de un sensor capacitivo [12]

- *Conductivos*: Se emplean con líquidos conductores de electricidad. Se colocan dos electrodos a un cierto nivel, y estos a una pila. Cuando el líquido alcanza ese nivel, se cierra el circuito, y se produce la detección [Ilustración 2.2-13].

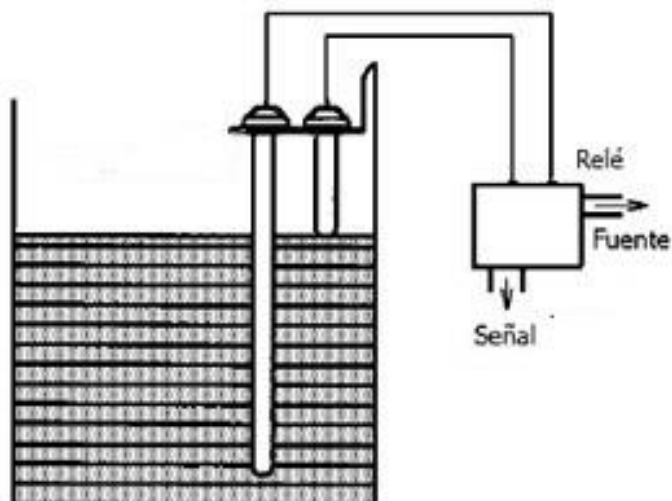


Ilustración 2.2-13 Sistema conductivo [13]

2.2.3 Métodos de transmisión y registro de datos

Una vez disponemos de la información del sensor ésta debe de ser transmitida desde el lugar en que este situado el sistema, hasta la unidad remota donde va a ser procesada. Existen varias opciones para la transmisión de datos, pero todas pasan necesariamente por el empleo de alguna tecnología inalámbrica vía radio. En esa línea, se presentan tres posibles opciones:

- *Transmisión de datos mediante radiomódem.* Los radiomodems son equipos de comunicaciones inalámbricas de datos que permiten establecer enlaces punto a punto o punto a multipunto en el ámbito industrial y se utiliza en diferentes aplicaciones entre las que cabe citar los sistemas de telemetría de baja velocidad, la recolección de datos, las instalaciones agrícolas, y las máquinas expendedoras. Generalmente trabajan en bandas libres de VHF (Very High Frequency) y UHF (Ultra High Frequency), especialmente las bandas ISM (Industrial, Scientific and Medical) de 400 y 800 MHz, y permiten, empleando potencias reducidas, conseguir alcances de entre 10 y 30 km en espacio libre.

En la Ilustración 2.2-14 se muestra el radiomódem RipEX-400 de la empresa Racom que permite transferencias de datos hasta 166 Kbps transmitiendo en la banda de 400 MHz con un máximo de 10 W de potencia. Los radiomodems suelen ser equipos muy fiables y sencillos de configurar.



Ilustración 2.2-14 Radiomódem RipEX-400 [14]

- *Transmisión de datos mediante módem 3G-GPRS.* Cuando las medidas se realicen dentro de zonas en las que haya cobertura de telefonía celular terrestre (2.5G, 3G y 4G) pueden emplearse dichas redes para transmitir los datos. Al no existir obstáculos en la zona de estudio y puesto que la cadencia de los datos es lo suficientemente baja, la comunicación en zonas de buena cobertura estaría prácticamente garantizada. Existen infinidad de equipos en el mercado que permiten implementar esta comunicación, especialmente los del mercado de la comunicación M2M (Machine-to-Machine). Como ejemplo, en la Ilustración 2.2-15 se presenta el TK714U de la empresa SATEL. Este módem emplea redes 2G-GPRS y 3G-UMTS para transmisión la información que recibe de un puerto serie RS-232 y cuatro puertos Ethernet.



Ilustración 2.2-15 Radiomódem TK714U [14]

- *Radio-módulos.* Los módulos de radiofrecuencia son pequeños dispositivos electrónicos que se usan para transmitir/recibir datos entre equipos. Generalmente son dispositivos autónomos basados en microprocesador que tienen su mercado mayoritario en la domótica inalámbrica, mandos de garajes, sistemas inalámbricos de alarma, controladores remotos industriales, sensores inteligentes, etc. Se caracterizan principalmente por ofrecer soluciones de transmisión de datos inalámbricas a muy bajo coste. Suelen emplear las bandas libres ISM, en especial las de 400, 800 y 2400 MHz, transmitiendo siempre con potencias inferiores a 1 W. Existen una gran variedad de radio-módulos dependiendo del estándar empleado (ZigBee, Bluetooth Low Energy, Wi-Fi, etc.), aunque algunos módulos también emplean protocolos propietarios.



Ilustración 2.2-16 Radio módulo APC220 [14]

Los módulos suelen poseer un interfaz serie RS-232 para acoplarse a cualquier otro sistema microprocesador aunque los más avanzados emplean buses más modernos como SPI (Serial Peripheral Interface), I2C (Inter-Integrated Circuit), CAN (Controller Area Network), etc.

En la Ilustración 2.2-16 se muestra como ejemplo el módulo de RF APC220 desarrollado por la empresa AppCon Technologies que transmite en el banda de 400 MHz. Emplea únicamente 20 mW de potencia y transmite datos con una tasa máxima de 2400 bps hasta 6 km de distancia. Su coste es de unos 10€ aproximadamente.

2.3 Sistemas de medición y registro de nivel de líquidos

Después de una breve prospección del mercado se ha encontrado que los sistemas comerciales más empleados poseen en común los elementos mencionados en el apartado [2.2]. Veamos algunos de esos sistemas.

En primer lugar encontramos, en la empresa Coltech, el Equipo NV2000 [15], que podemos ver en la Ilustración 2.3-1, es un sistema de control de nivel electro neumático, que realiza el cálculo del volumen del depósito mediante la medición de la presión que ejerce la columna de líquido sobre la sonda de nivel. Para ello dispone de una consola intermedia dispone de un compresor que inyecta aire en la sonda (comunicados ambos elementos por un tubo neumático), para desalojar el producto de la sonda y un sensor de presión que ofrece una señal eléctrica que es procesada por el panel de control.



Ilustración 2.3-1 Equipo NV2000 de la empresa Coltech [15]

El equipo dispone de servidor web incorporado lo que permite la telemedida, bien desde cualquier ordenador conectado a la misma red LAN (Local Area Network) o incluso desde otros ordenadores a través de internet. Opcionalmente el equipo puede incorporar protocolo MODBUS (protocolo de comunicaciones serie de Modicon) así como fabricar las sondas en otros materiales. Su precio es de 458€.

Similar a este equipo, tenemos, también de Coltech, el modelo SU20 [15], que es un medidor de nivel para tanques de gasóleo, el cual vemos en la Ilustración 2.3-2. El sistema de nivel consta de un panel de control con indicación del volumen en litros y de una sonda de nivel por ultrasonidos que es alojada en la parte superior del depósito, así como un rollo de 45mts de cable eléctrico 3 hilos para interconexión. La sonda de nivel emite un impulso ultrasónico que viaja hasta la lámina de producto, refleja y vuelve al emisor. El tiempo transcurrido entre la emisión y recepción del impulso será inversamente proporcional al nivel de producto.

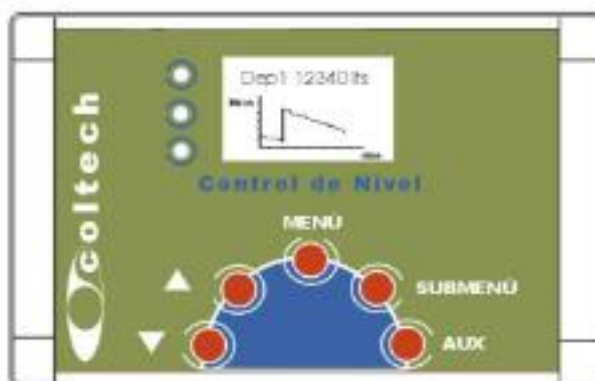


Ilustración 2.3-2 Equipo SU20 de la empresa Coltech [15]

El servidor web muestra el volumen del depósito y puede mostrar un gráfico con la evolución del consumo de combustible a lo largo del tiempo (es necesario acceso a internet para que el equipo acceda a las librerías de los gráficos). Opcionalmente los datos pueden ser almacenados en la nube y ser consultados desde cualquier dispositivo conectado a internet sin ser necesario estar en el emplazamiento donde está instalado el depósito. Su precio es de 432€.

Con unas características similares a los anteriores, pero de la empresa PIUSI, nos encontramos con el sistema *OCIO* [9], que es un sistema para controlar el nivel del líquido en los depósitos atmosféricos. El sistema registra la presión estática generada por la altura del líquido por medio de un tubo introducido dentro del depósito y visualiza el nivel del líquido o el volumen [Ilustración 2.3-3]. El sistema está constituido por:

- Un tubo sumergido en el líquido hasta tocar el fondo, que permite registrar la presión estática.
- Una unidad de control para la visualización del nivel y el control del sistema. La unidad dispone de un programa intuitivo y completo y permite la conexión de dos dispositivos de alarma o de bloqueo.



Ilustración 2.3-3 Sistema OCIO de la empresa PIUSI [16]

De acuerdo con los niveles de alarma programados, la unidad de control activará o desactivará el contacto, actuando como interruptor remoto para el accionamiento de los dispositivos de alarma o para el bloqueo en la alimentación de los equipos conectados. Su precio, en la versión para un depósito, es de 424€.

3 SISTEMA PROPUESTO

3.1 Requisitos del sistema

Tal y como se expuso en el apartado [1], la ENM precisa un sistema que le permita conocer el nivel de agua en los depósitos, transmitir esa información, y almacenarla para su posterior procesamiento y análisis. Por tanto, debe cumplir una serie de requerimientos, condicionados por la situación particular, tanto geográfica como operativa, de la Escuela Naval, que conviertan a este sistema en el idóneo en lo referente a funcionamiento, resistencia a la climatología y autonomía, entre otros. Los requisitos principales se citan en los siguientes subapartados.

3.1.1 Requisitos operativos

- Se necesita un sistema que monitorice el nivel del agua sin contacto, con el objetivo de no producir ningún tipo de contaminación en los tanques.
- El sistema debe ser capaz de enviar, además del nivel de agua, el nivel de batería y el número de paquete de datos enviados, de manera que se pueda establecer un control sobre el estado energético del sistema y se detecte la pérdida de paquetes de datos.
- La tasa de transferencia de datos debe ser de, al menos, 360 bits por segundo, para garantizar que la totalidad de cada paquete, con los datos mencionados en el apartado [4.5], sea transmitida.
- El enlace debe ser capaz de operar a una distancia de, al menos, 800m. Además, es necesario que pueda librar algunos elementos que se encuentran en la trayectoria que une el punto de transmisión con el de recepción.
- La recepción debe tener un sistema que trabaje de forma continua, recogiendo y almacenando los datos, y que permita su posterior procesamiento, para lo que es necesaria una capacidad de almacenamiento de 1MB.
- El sistema de recepción deberá incluir, en cada uno de los paquetes recibidos, la fecha y la hora del sistema.
- Dadas las dimensiones del depósito, puede asumirse un error de hasta un 1%, por lo que la precisión debe ser de, al menos, 6cm como se verá en detalle en el apartado [4.1]

3.1.2 Requisitos ambientales

- Tanto la placa como las antenas deben ser capaces de operar en un rango de temperaturas de entre -5 y 40°C.
- Las antenas, al estar colocadas al aire libre, deben ser resistentes a las inclemencias meteorológicas, especialmente a la lluvia.

3.1.3 Requisitos de alimentación

- El sistema debe tener capacidad para alimentar el sensor con el voltaje que este requiera.
- Dispondrá de una solución energética que le dé autonomía durante 72h, evitando que el sistema dependa de otras fuentes de energía durante el tiempo de operación.

3.1.4 Otros requisitos

- El sistema tendrá un coste muy reducido y sus componentes podrán adquirirse con facilidad en el mercado.
- Se emplearán tecnologías actuales, de uso extendido, que permitan adquirir repuestos de forma rápida y económica.
- Será necesaria una estructura que permita colocar el sensor sobre la superficie del agua en el interior del depósito, salvando los obstáculos geométricos del mismo.

3.2 Diseño hardware y software

La arquitectura del sistema definido puede observarse en la Ilustración 3.2-1.

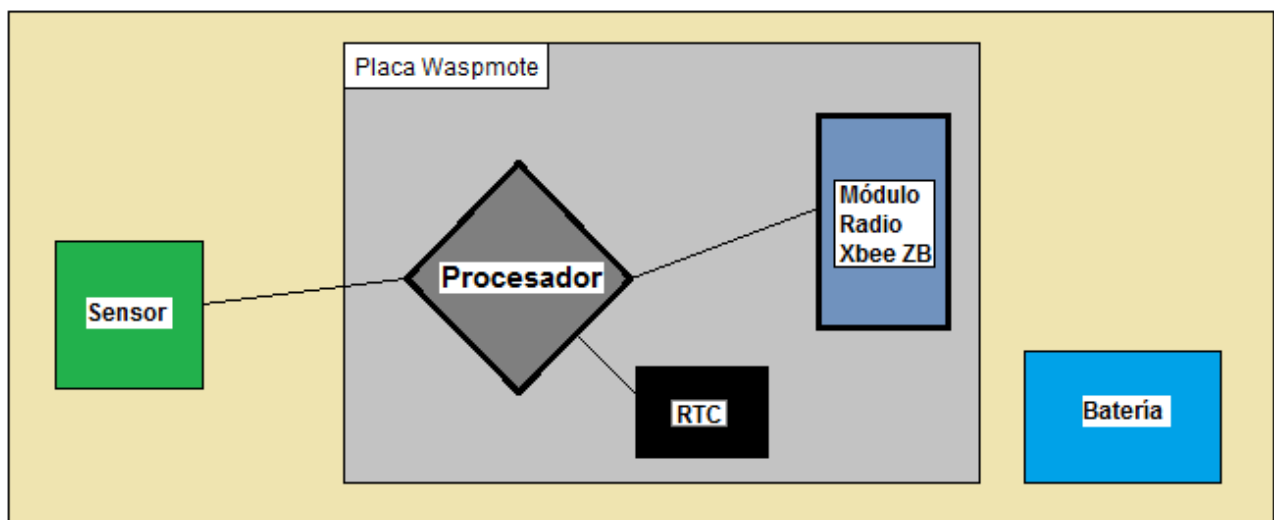


Ilustración 3.2-1 Diagrama de bloques del sistema propuesto

Cada uno de los elementos, que se detallarán en los subapartados de esta sección, ha sido elegido por cumplir con los requerimientos previamente establecidos en el apartado [3.1].

El sensor ultrasónico seleccionado permite la obtención de medidas sin contacto con el líquido, con una precisión de 2,54cm, como viene detallado en el apartado [3.2.1]. Además es un sensor

comercial de uso muy extendido, lo que permite poder adquirirlo a un precio muy reducido (24.95€). Por estos motivos, cumple con lo estipulado en los puntos 1 y 6 del apartado [3.1.1] y en los puntos 1 y 2 del apartado [3.1.4].

Se ha elegido la placa “Waspnote” por ser una placa de desarrollo versátil, que además de poder integrar el sensor y alimentarlo con los 3.3V que necesita (cumpliendo así lo estipulado en el punto 1 del apartado [3.1.3]), permite programar el sistema de formación de paquetes y envío de datos requerido en el punto 2 del apartado [3.2.1]. Al implementar el módulo de radio XBee ZB, con una tasa de transferencia de hasta 250kbps, cumple con el requerimiento del punto 3 del apartado [3.1.1]. Además, puede operar en condiciones de entre -10 y 65°C de temperatura, que está dentro de los márgenes de operación establecidos en el punto 1 del apartado [3.1.4]. La batería elegida, , le otorga una autonomía de más de 72h al sistema, gracias al procedimiento de hibernación implementado que se encuentra descrito en el apartado [4.4.1], cumpliéndose así de forma holgada el requisito establecido en el punto 2 del apartado [3.1.3].

Las antenas, cuyas características se detallan en el apartado [3.2.3], han sido seleccionadas atendiendo a cuatro factores: distancia a la que pueden establecer el enlace (hasta 1.7km), capacidad para superar obstáculos (al trabajar en 2.4GHz pueden establecer enlaces incluso con objetos interrumpiendo la línea de visión directa entre las antenas), resistencia a la intemperie (su carcasa está especialmente diseñada para trabajar en exteriores y aguantar las inclemencias climatológicas) y precio reducido, así como facilidad de adquisición (el precio de cada antena es de 15.37€). Estos cuatro factores hacen que las antenas cumplan con los requisitos del punto 4 del apartado [3.1.1], de los puntos 1 y 2 del apartado [3.1.2] y de los puntos 1 y 2 del apartado [3.1.4].

Por último, el sistema de recepción, programado en la interfaz de “Processing”, permite añadir a cada paquete la hora de entrada, y al estar operando sobre un ordenador, tiene una capacidad de almacenamiento de hasta 500GB, satisfaciendo las condiciones de los 5 y 6 del apartado [3.1.1].

3.2.1 Sensor s3nar

El sonar LV-MaxSonar-EZ MB1030 de la empresa MaxBotics (ver Anexo I) es un sensor de haz estrecho que trabaja a 42KHz. Este m3dulo est3a dise3aado para medir distancias, en aplicaciones como: detectores de movimientos, sensores de proximidad o, como es el caso, conocer la altura de l3quido en un dep3sito [Ilustraci3n 3.2-1].



Ilustraci3n 3.2-2 Sensor Sonar LV-MaxSonar-EZ MB1030 de la empresa MaxBotics [17]

La hoja de características del producto nos dice que el sonar es capaz de detectar objetos entre 0 y 6.45m, con una resolución de 2.54cm a distancias superiores a 15cm. Para objetos entre los 0 y los 15.2cm el sensor devuelve lecturas de distancia de 15.2cm. Estas distancias se miden desde la superficie del sonar, como se muestra en la Ilustración 3.2-3.

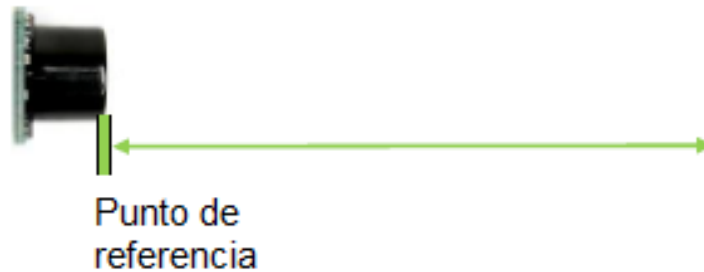


Ilustración 3.2-3 Rango cero de medición [17]

El sensor tiene en la parte trasera una selección de pines que permiten seleccionar el modo de operación que se desee. En nuestro caso se han señalado la toma de corriente (PIN +5), la toma de tierra (PIN GND) y la salida analógica (PIN AN), por ser los que hemos utilizado en este proyecto. En la Ilustración 3.2-4 podemos ver donde están situados los pines en cuestión.

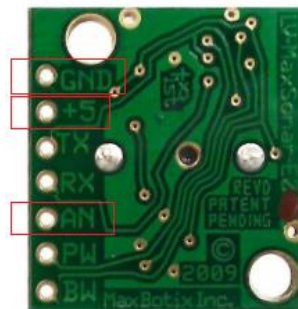


Ilustración 3.2-4 Selección de pines del sensor LV-MaxSonar-EZ MB1030 [17]

3.2.2 Procesador de datos

El procesamiento de datos se hace mediante la placa *Wasp mote v15* [Ilustración 3.2-5] y su entorno de programación. “Wasp mote” es una plataforma de código libre, utilizada para implementar redes de sensores inalámbricos de bajo consumo energético, que pertenece a la empresa aragonesa “Libelium”.

La plataforma consta de:

- La placa Wasp mote, que a su vez está compuesta por un microcontrolador, una memoria, una batería, un acelerómetro y varios sockets para añadir otros sensores.
- La API (Application Programming Interface) y el compilador de código libre.
- Diferentes radios de comunicación inalámbrica, controlados por el protocolo ZigBee.
- Conectores para añadir elementos de comunicación adicionales como Bluetooth, GPRS y GPS.

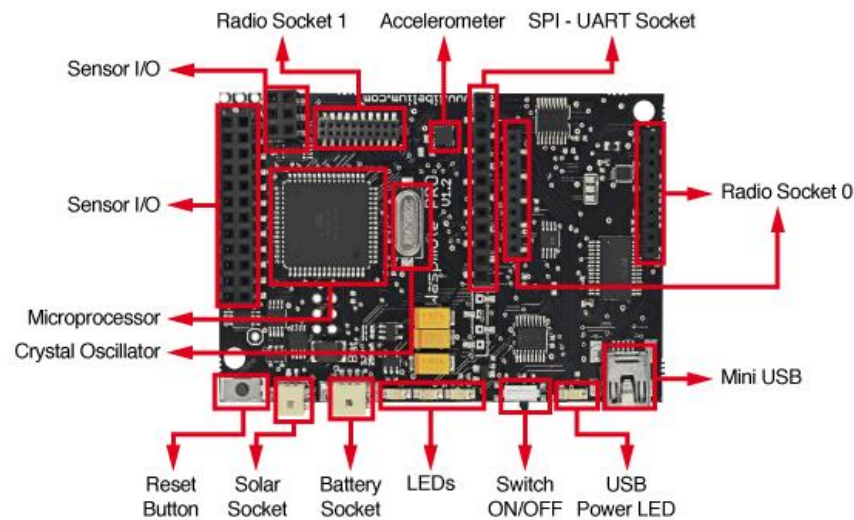


Ilustración 3.2-5 Parte delantera de la placa Wasp mote [18]

Dentro de los elementos que componen la placa, es interesante destacar los que se han empleado en el presente proyecto:

En primer lugar, el *Radio Socket 0*, sobre el cual va instalado el módulo XBee, que mediante el protocolo ZigBee lleva a cabo las funciones necesarias para la transmisión de datos. El módulo se conecta como podemos observar en la Ilustración 3.2-6.



Ilustración 3.2-6 Montaje del módulo XBee sobre el Radio Socket 0 [18]

En segundo lugar, el *sensor I/O* (input/output), concretamente el bloque situado sobre el botón de “reset”, del cual se han utilizado las ranuras correspondientes a la alimentación de 3.3V, GND (toma de tierra) y ANALOG1 (entrada analógica de datos n°1) para la integración del sensor en la placa, situados donde vemos en la Ilustración 3.2-7.

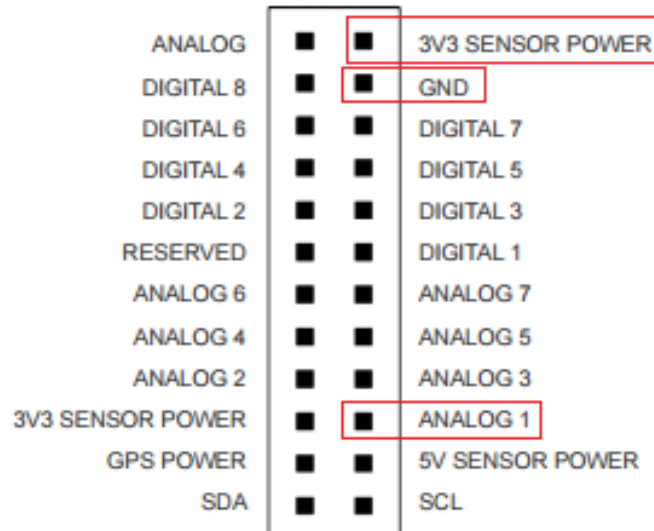


Ilustración 3.2-7 Ranuras I/O de la placa Waspote [18]

Y en tercer lugar el reloj interno de la placa, el RTC, que permite controlar los tiempos en los que la placa debe estar operando e hibernando, así como programar alarmas para “despertar” al sistema de la hibernación cuando sea necesario tomar datos. Esto nos permite optimizar el uso energético que se hace de la batería, consiguiendo mayor autonomía.

Destacar también el interruptor del modo de hibernación, necesario para poder activar esta característica. Tanto el RTC como el interruptor están situados en la parte posterior de la placa, como se ve en la Ilustración 3.2-8.

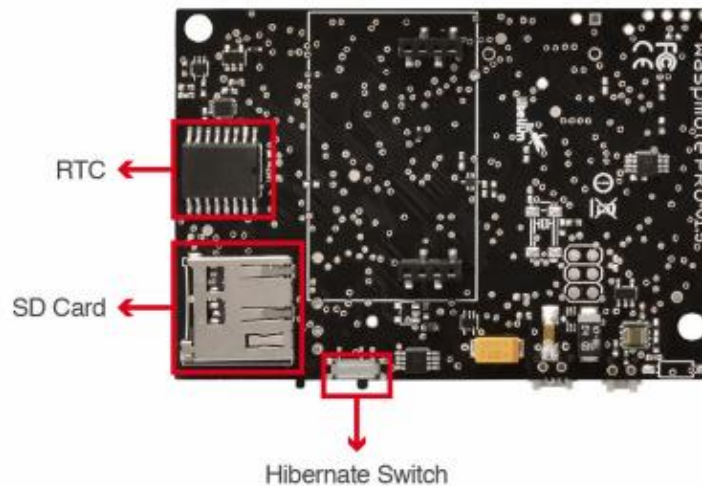


Ilustración 3.2-8 Parte posterior de la placa Waspote [18]

3.2.3 Transmisión de datos

Este apartado consta de dos partes: la primera describe las características principales de las antenas y los módulos de radiofrecuencia empleados, y la segunda describe el diagrama de flujo del programa de envío de datos.

3.2.3.1 Antenas y módulo XBee

Para la realización del sistema se decidió seleccionar la antena TL-ANT2409A [Ilustración 3.2-9], fabricada por la marca TP-LINK. Este tipo de antena trabaja en la banda de 2.4 GHz, lo cual le da mayor capacidad que, por ejemplo, las de 5GHz para superar obstáculos y, además, al ser una banda libre y ser una de las bandas que emplea WiFi, existe una gran disponibilidad de antenas de este tipo en el mercado.



Ilustración 3.2-9 Antena TL-ANT2409 [19]

Entre sus características principales destacan que, este modelo concreto de antenas, son de polarización vertical, con una ganancia directiva de 9dBi, ancho de haz a 3dB en el plano horizontal y una carcasa preparada para permitir a la antena trabajar en exteriores. Estas características son las más adecuadas para este proyecto, cumpliendo con los requerimientos operativos y ambientales necesarios que se vieron en los apartados [3.1] y [3.2]. La antena finaliza en un conector RP-SMA de tipo macho.

Como transceptor de radiofrecuencia, se ha seleccionado 1 módulo XBee-PRO S2B ZigBee [Ilustración 3.2-10], que emplea el estándar ZigBee para la transmisión de datos. Se emplea uno de estos módulos para la transmisión y otro para la recepción.



Ilustración 3.2-10 Módulo XBee-PRO S2B ZB [20]

Las características principales de este modelo se detallan en la Tabla 3.2-1.

Alcance máximo en exteriores (LOS)	Hasta 3200 metros
Potencia de transmisión	50mW (+17dBm)
Tasa de transmisión de datos	250,000 b/s
Tasa de datos del <i>Serial interface</i>	1200 b/s y 1Mb/s (también pueden ser seleccionadas tasas de baudios no estándar)
Sensibilidad del receptor	-102 dBm
Voltaje de alimentación	3.0-3.4V

Tabla 3.2-1 Características del módulo XBee-PRO S2B ZB

3.2.3.2 Software de transmisión

El programa de transmisión de datos se realizó en el entorno de programación de “Waspnote”, diseñando las diferentes funciones por separado (primero el sistema de envío, luego el sistema de lectura de datos y conformado de paquetes y por último la función de hibernación) para después unir las e integrarlas en el programa. En la Ilustración 3.2-11 se muestra cómo funciona el programa cuando está en funcionamiento en la placa:

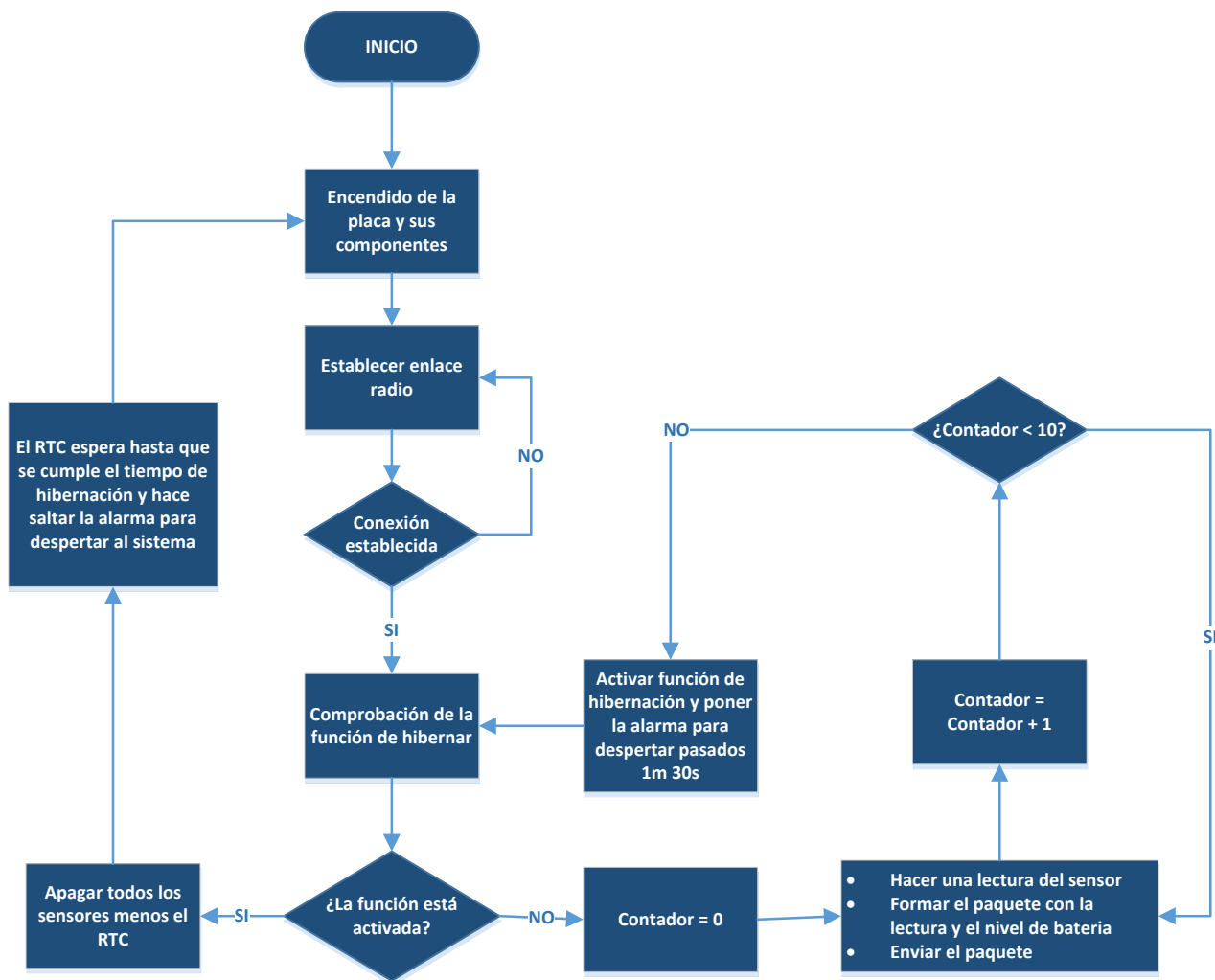


Ilustración 3.2-11 Diagrama de funcionamiento del programa

El programa funciona de la siguiente manera: se inicia la placa y ésta a su vez inicia todos los componentes que va a tener que usar durante el programa, y define las variables necesarias. A continuación, comprueba los parámetros de la red y trata de establecer el enlace con el receptor. El programa permanece en bucle intentando establecer conexión hasta que lo consigue. Una vez establecida la conexión, comprueba si esta encendida la alarma para hibernar. Al haber sido recién iniciado, la alarma no esta seleccionada aún. Por tanto, establece un contador, iniciándolo a valor cero, y lleva a cabo el proceso de construcción y envío de paquete. Este proceso se repite diez veces, hasta cumplir la condición de que el valor de contador no sea menor que diez (se seleccionó diez porque se consideró que aportaba suficiente información en el período de tiempo establecido, pero es un parámetro fácilmente modificable). Llegado a ese punto, se activa la función de hibernación y se programa la alarma para despertar pasados un minuto y treinta. El programa vuelve entonces a comprobar si está activada la función de hibernación, siendo afirmativo en este caso. La placa apaga todos los sensores excepto el reloj RTC, que será el que controle la alarma de encendido. Pasados un minuto y treinta segundos, tiempo que es totalmente configurable por software, la alarma se dispara y la placa se despierta, volviendo al punto inicial del programa.

3.2.4 Recepción y procesamiento de datos

Para el sistema de recepción contamos con una pasarela *Waspnote Gateway* conectada mediante un puerto USB al PC de control donde se ejecuta el software de recolección y almacenamiento de datos.

La pasarela está formada por un módulo XBee-ZB como el descrito en [3.2.3.2] acoplado a una tarjeta de conversión serie-USB y electrónica adicional, como se muestra en la Ilustración 3.2-12 Pasarela *Waspnote Gateway* con el módulo XBee-ZB.

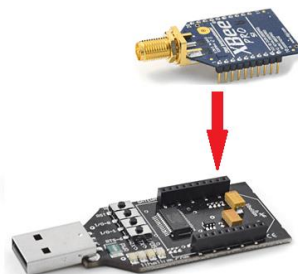


Ilustración 3.2-12 Pasarela *Waspnote Gateway* con el módulo XBee-ZB [18]

El software de recepción consta de un programa, que es el encargado de procesar la información que obtiene del puerto USB en el que está conectada la pasarela *Waspnote Gateway* y un sistema de almacenamiento que captura la información, la estructura y la guarda. El programa de recepción se ha realizado en el entorno de programación “Processing”. En el diagrama de la Ilustración 3.2-13 se muestra el funcionamiento del programa.

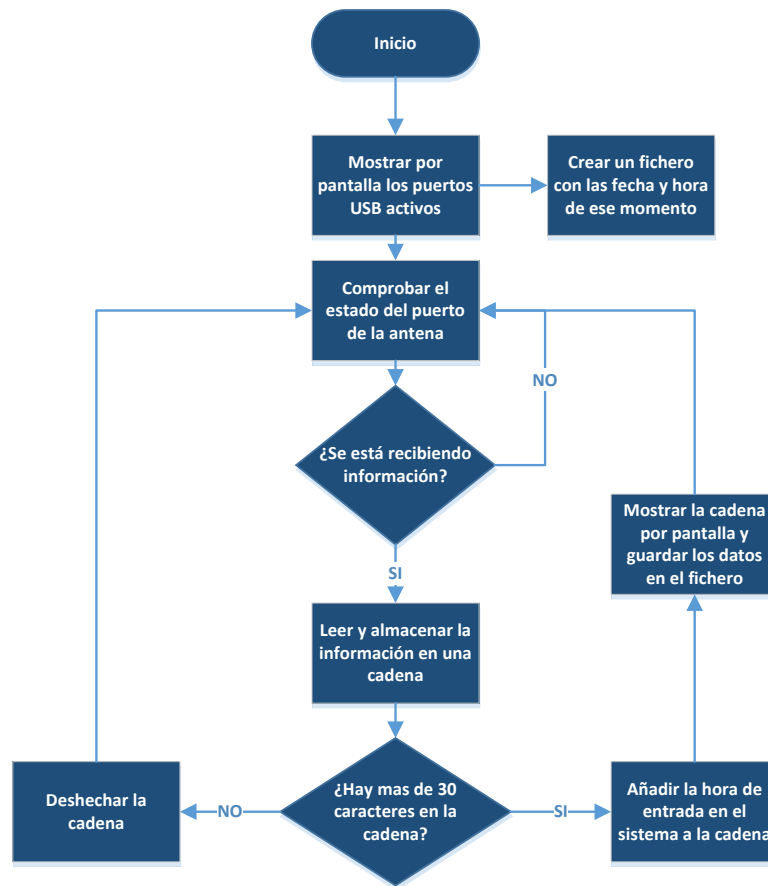


Ilustración 3.2-13 Diagrama de funcionamiento del programa de recepción de datos

El funcionamiento del programa es cíclico, tiene inicio pero no tiene fin. Desde que se inicia, el programa presenta en pantalla los puertos USB activos, permitiendo identificar dónde está conectada la pasarela *Waspnote Gateway*. A la vez, crea el fichero CSV en el que se almacenarán los datos, poniendo en el título la fecha y la hora del momento de inicio. A continuación comprueba si el puerto en el que le hemos indicado que tenemos el receptor está activo. El siguiente paso es comprobar si, además de estar activo, está recibiendo información; en caso negativo vuelve a comprobar si el receptor está activo, en caso afirmativo realiza las lecturas de lo que recibe. Si la información recibida contiene menos de treinta caracteres, deshecha el paquete y vuelve al paso de comprobación de actividad en el receptor; si el paquete tiene más de treinta caracteres, el programa añade la hora de entrada al paquete, lo muestra por pantalla y lo guarda en el fichero, volviendo acto seguido a comprobar el estado de actividad del receptor.

El fichero que crea el programa para almacenar las cadenas es, como se ha mencionado anteriormente, un fichero CSV, que se abre en una hoja de Excel. En él, el programa almacena la cadena, separando mediante el carácter “;” las diferentes columnas, a saber, la columna de la hora, la del valor de la batería, la lectura del sensor y el número de paquete, como se muestra a continuación. Con estos datos, como se explicará en el apartado [4.6], se realiza un procesamiento y se hacen gráficas y estadísticas sobre los consumos en el período de tiempo correspondiente a ese fichero.

Ejemplo de fichero csv recibido:

```

9:05:15;B;53;D;137.61;Pqt;6
9:05:19;B;53;D;137.61;Pqt;7
9:05:22;B;53;D;137.61;Pqt;8

```

4 DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1 Estudio de los depósitos de agua de la ENM

Antes de comenzar a tomar medidas, era necesario hacer un estudio del tamaño de los depósitos de agua, situados en el denominado “sector 7” de la Escuela Naval [Ilustración 4.1-1].



Ilustración 4.1-1 Posición geográfica de los depósitos [21] (modificada)



Ilustración 4.1-2 Bloques de depósitos de la ENM [21]

La Escuela cuenta con un total de cinco depósitos, agrupados en dos bloques que le proporcionan una capacidad total teórica de almacenamiento de agua de 13200 toneladas. Como vemos en la Ilustración 4.1-2 por un lado está el bloque de los depósitos n°3, n°4 y n°5 (izquierda), que son los más antiguos, y por otro, los depósitos n°1 y n°2 (derecha), que fueron reformados recientemente.

Por motivo de facilidad de acceso y disponibilidad de información, se decidió llevar a cabo el estudio de los consumos en el bloque de los depósitos n°1 y n°2, aunque finalmente los resultados se ciñeron al depósito n° 2. En primer lugar, se contactó con la oficina de mantenimiento de la Escuela Naval, la cual nos facilitó los planos del bloque de depósitos de estudio del presente TFG. Estos planos se corresponden con la situación actual, una vez llevada a cabo la remodelación que se mencionó anteriormente, como podemos ver en la Ilustración 4.1-3.

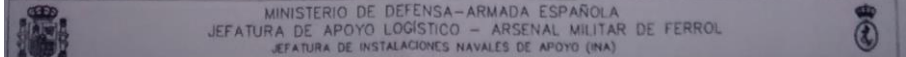


Ilustración 4.1-3 Depósitos 1 y 2

Para contrastar la información aportada por la oficina de mantenimiento, se decidió tomar medidas y calcular el volumen de los tanques, de forma que tuviésemos valores contrastados.

Durante el dimensionamiento de los tanques, se empleó el telémetro láser Bosch GLM 100 C Professional, con el cual se pudieron obtener las medidas principales del depósito (mencionar que el telémetro era capaz de medir la distancia al fondo del tanque a pesar del agua). Debido a la geometría del mismo, se decidió dividirlo en secciones diferenciadas que representasen formas más simples, dimensionarlas, y luego sumar el valor total de los volúmenes para obtener el resultado que buscábamos.

Para ello, se definió, en primer lugar, la sección principal del depósito, en forma de prisma rectangular; en adelante nos referiremos a ella como *Sección 1*. Se eliminaron de esta sección los elementos adyacentes que no podían incluirse en ésta forma geométrica y, con la ayuda del telémetro, se obtuvieron las dimensiones reflejadas en la Ilustración 4.1-4

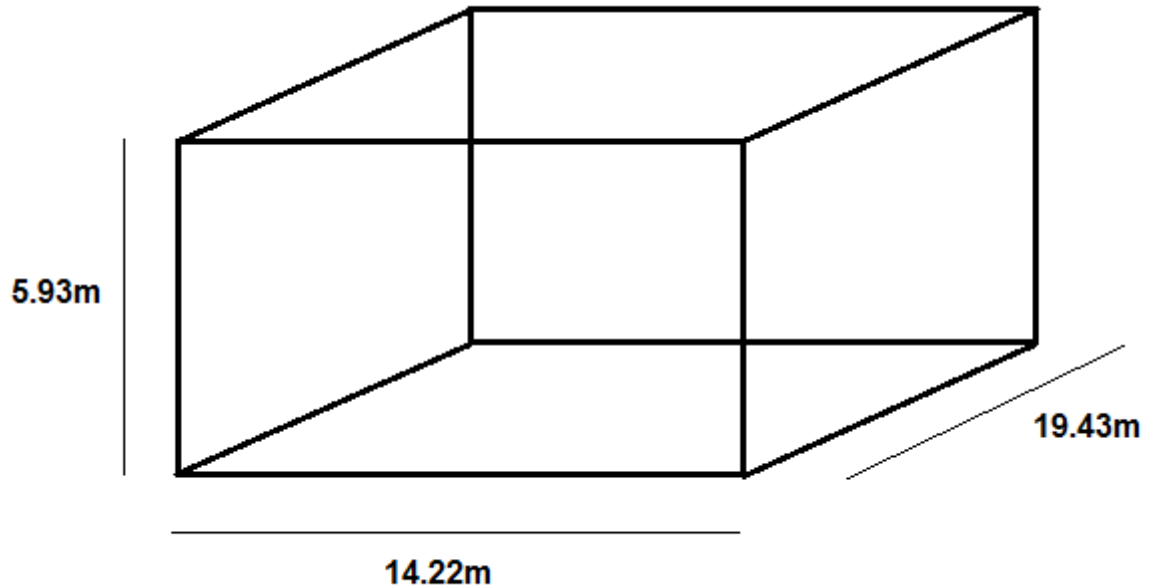


Ilustración 4.1-4 Dimensiones principales del depósito 2, *Sección 1*.

Que se corresponden con las dimensiones que podemos ver resaltadas en la Ilustración 4.1-5.

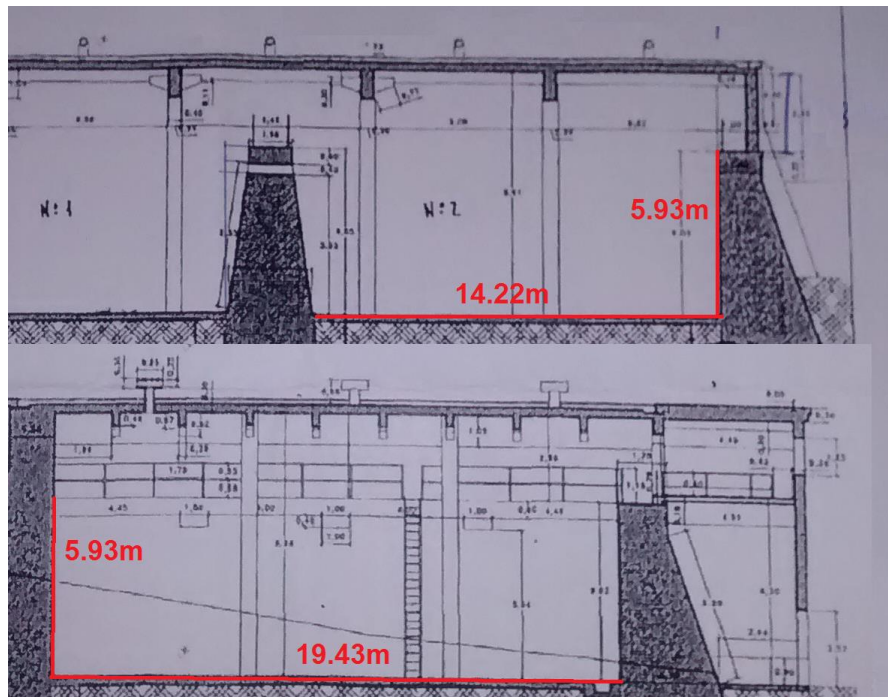


Ilustración 4.1-5 Sección 1

Sin embargo, esta simplificación eliminaba una parte del depósito que tenía pendiente, correspondiente a la zona de separación entre los depósitos n°1 y n°2. Esta parte, a la que nos referiremos como *Sección 2*, tenía unas dimensiones que no eran despreciables y, por tanto, se calculó también su volumen. La *Sección 2* quedó dimensionada como puede verse en la Ilustración 4.1-6.

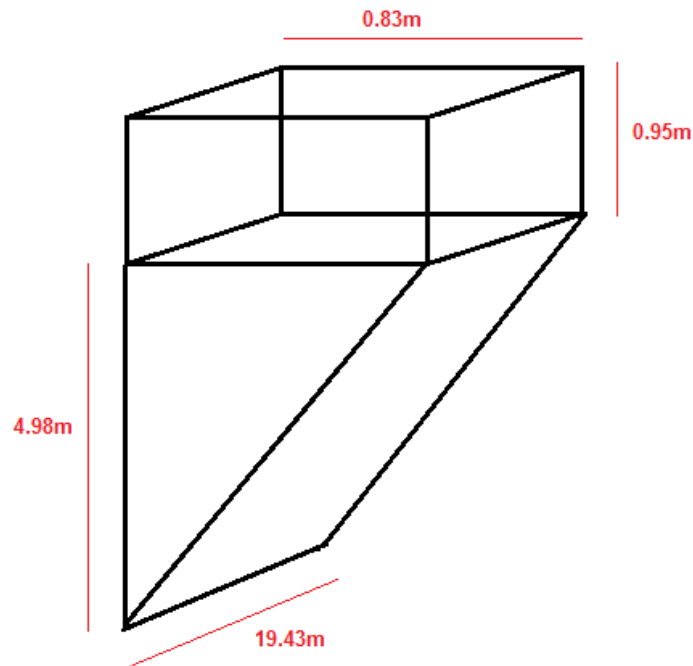


Ilustración 4.1-6 Dimensiones principales de la Sección 2

Que se corresponde con las medidas que se muestran en la Ilustración 4.1-7.

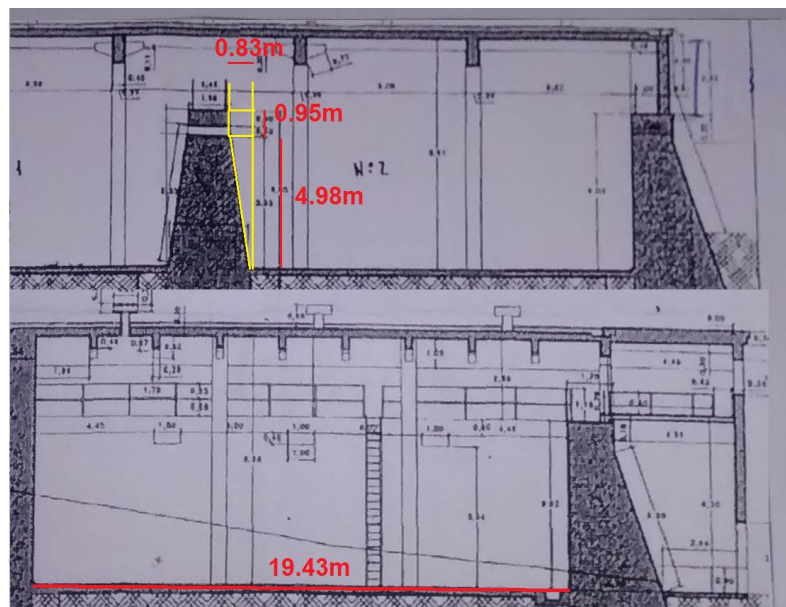


Ilustración 4.1-7 Sección 2

Por último se llevó a cabo también el cálculo del volumen de las columnas que hay en el interior de la *Sección 1*, para poder restarlas al volumen total. Las dimensiones de cada una de las 4 columnas que hay en cada depósito son las que se exponen en la Ilustración 4.1-8.

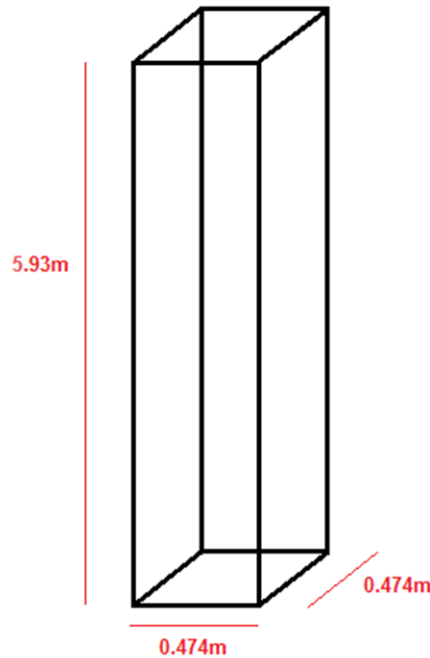


Ilustración 4.1-8 Dimensiones de las columnas

Con todos estos datos, se procedió al cálculo de volúmenes de la siguiente manera:

$$\text{Sección 1: } 19.43m \times 14.22m \times 5.93m = 1637.04m^3$$

$$\text{Sección 2: } 0.95m \times 0.83m \times 19.43m + 0.5 \times 0.83m \times 4.98m \times 19.43m = 55.38m^3$$

$$\text{Columnas: } 0.474m \times 0.474m \times 5.93m \times 4 = 5.32m^3$$

Sabiendo que la densidad del agua dulce es de $1Tn/m^3$, solo quedaba sumar los volúmenes de las Secciones 1 y 2 y restar el total de las columnas para obtener la capacidad máxima en toneladas de agua:

$$\text{Volumen total del depósito 2: } 1637.04Tn + 55.38Tn - 5.32Tn = 1687.1Tn$$

Añadir que los depósitos nunca alcanzan este nivel debido a que tienen elementos para evitar el rebose, a una altura equivalente a las 1400Tn, evacuando el agua sobrante al mar.

4.2 Calibración del sensor y verificación de su resolución

Además del estudio de los depósitos de agua, era necesario conocer las características reales de operación del sensor. Así, comparando los resultados obtenidos en la práctica con los valores teóricos, se podría obtener una estimación del error.

Para ello se realizaron diferentes medidas con el sensor, colocándolo sobre un rail graduado y midiendo la distancia a una placa plana, como se muestra en la Ilustración 4.2-1.

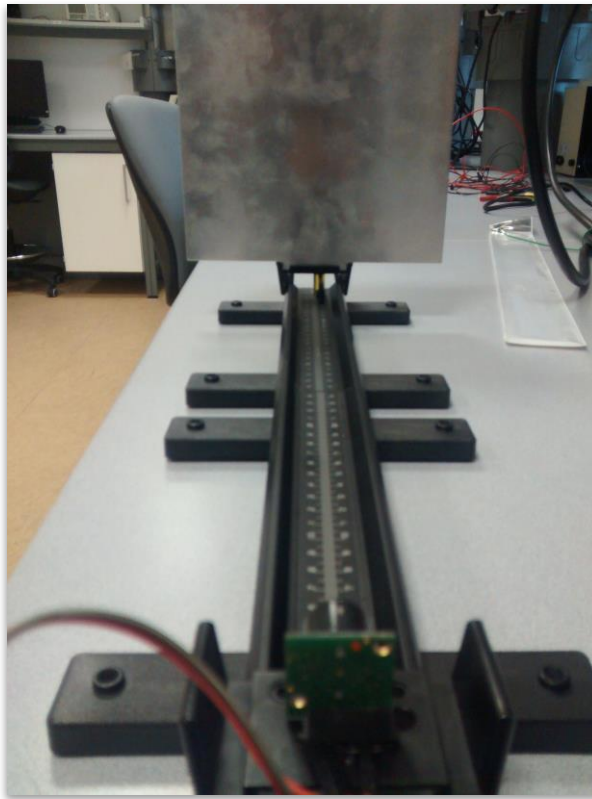


Ilustración 4.2-1 Pruebas de calibración del sensor

Así, situando el sensor a distintas distancias de la placa se pudo obtener la distancia mínima a la que era capaz de medir con precisión, la distancia máxima, la resolución, y el error. Estos valores, aunque similares a los especificados por el fabricante, no son exactamente iguales. Podemos ver estos valores en la Tabla 4.2-1.

	Valores de serie	Resultados en la práctica
Precisión	2.54cm	2.54cm
Alcance máximo	6.45m	6.3m
Alcance mínimo	15.2cm	22.1cm
Error	0	-3cm

Tabla 4.2-1 Características del sensor LV-MaxSonar-EZ MB1030

La información obtenida fue muy útil a la hora de decidir a qué altura colocar el sensor, pues los 15.2cm de la hoja de características eran en realidad 22cm, por lo que era necesario situar el sensor a una altura superior. Además, la determinación del error (el sensor medía corto 3cm) fue fundamental para poder añadir una constante a las medidas del mismo, de manera que nos devolviese el valor exacto de la altura de agua del depósito.

4.3 Simulación y verificación del radioenlace

Para planificar correctamente la viabilidad del radioenlace de datos y estudiar la cobertura de los nodos, se ha empleado la reconocida herramienta de planificación radioeléctrica Radio Mobile (RM) de Roger Coudé [22].

El RM basa sus cálculos en base a un modelo Longley-Rice [23] de propagación troposférica para transmisión radio sobre terreno irregular en enlaces de largo-medio alcance. Está diseñado para frecuencias entre 20 MHz y 20 GHz con longitudes de enlace entre 1 y 2000 Km. El software se ha desarrollado empleando el modelo ITS (Irregular Terrain Model) descrito por G. A. Hufford, A. G. Longley y W. A. Kissick [24] y tiene en cuenta parámetros comunes a otros modelos de propagación.

El RM está basado en la teoría electromagnética, en el análisis estadístico de las características del terreno y de los parámetros del radioenlace, prediciendo la atenuación media de una señal de radio que se propaga en un entorno troposférico sobre terreno irregular. El modelo considera la polarización de la antena, la refractividad de la atmósfera, la permitividad y conductividad del medio, el clima, etc. Para ello, calcula la atenuación media de la misma, en función de la distancia y de la variabilidad de la señal en el espacio y en el tiempo.

El RM tiene un ajuste denominado “modo de variabilidad”. El modo seleccionado determina el significado de la variabilidad de los valores usados en el modelo. El modo de variabilidad puede ser considerado, por tanto, como la especificación para determinar la variabilidad de los cálculos. Los tipos de variabilidad descritos en el modelo Longley-Rice son la variabilidad en tiempo, situación y posición.

Estas tres dimensiones de variabilidad, fueron desarrolladas para considerar y clasificar variaciones en los niveles de señal medidos (mediana). El modelo no cubre sin embargo la variabilidad de corto plazo del tipo asociado con la propagación de multirayecto.

El efecto de los porcentajes de tiempo, localizaciones y situaciones depende del modo estadístico elegido. En función de estas dimensiones de variabilidad, pueden darse cuatro modos estadísticos:

- Modo Accidental, empleado para evaluar interferencias.
- Modo Broadcast (difusión), para unidades fijas.
- Modo Mobile, para comunicaciones móviles.
- Modo Spot (puntual), en el que el programa supone un enlace en el que se hace una única transmisión de forma puntual.

Los modos que mejor podrían encajar en el problema asociado al radioenlace de este TFG son el Broadcast y el Spot. En el modo Broadcast se tiene en cuenta la variabilidad por tiempo, la variabilidad por situaciones y la variabilidad de ubicaciones. En el Spot únicamente se tiene en cuenta la variabilidad por situaciones. Puesto que realmente el equipo transmisor de los depósitos funciona como estación de difusión, y para ser conservadores en el cálculo del enlace, se ha elegido el modo Broadcast en las simulaciones.

En las simulaciones que se exponen a continuación, una vez fijado el modo estadístico a Broadcast, se ha decidido dejar los valores por defecto de variabilidad temporal (50% del tiempo), situacional (70% de situaciones) y de ubicaciones (50%). Además se emplea una altura de la antena transmisora (depósitos) de 8 metros y la receptora (Isaac Peral) de 4 metros.

En primer lugar, con objeto de comprobar el margen del enlace, calcularemos el perfil de campo del vano Depósitos-Isaac Peral como se muestra en la Ilustración 4.3-1. En dicha figura se observa ausencia de obstáculos y corresponde a una longitud de enlace de unos 580 metros.

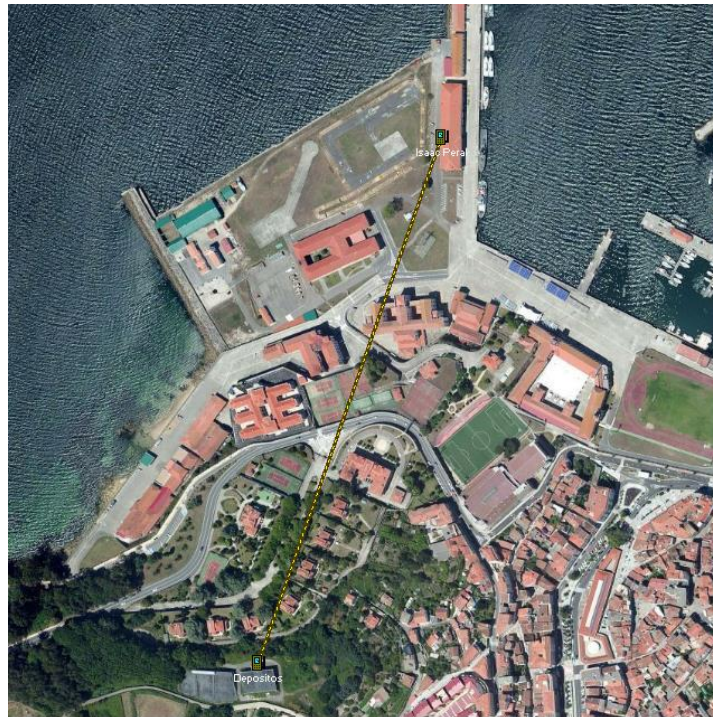


Ilustración 4.3-1 Visión general del enlace

Como añadido, en la Ilustración 4.3-2 puede apreciarse el mapa de cobertura desde el umbral de sensibilidad de -112 dBm hasta -72 dBm. Como se puede comprobar en la imagen, la situación geográfica de la antena receptora es la idónea para que pueda producirse el enlace.

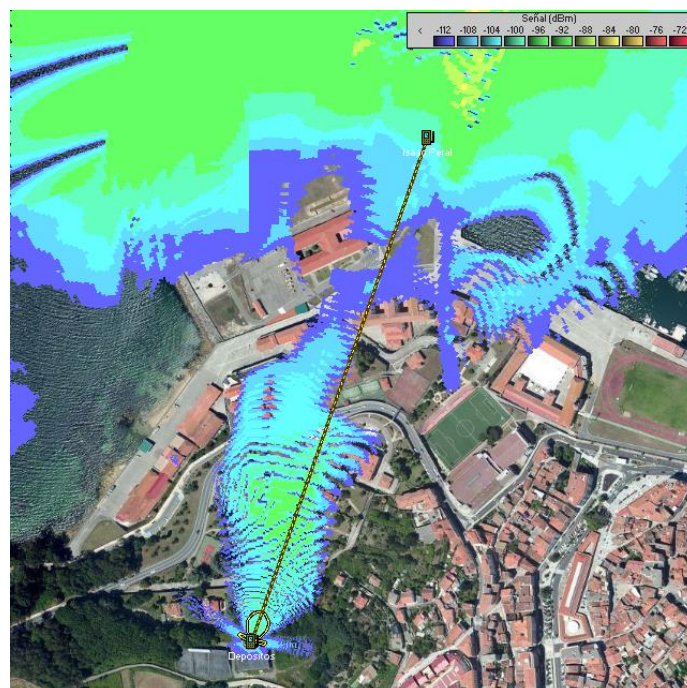


Ilustración 4.3-2 Mapa de cobertura desde el umbral de sensibilidad

En segundo lugar, aunque en la Ilustración 4.3-3 se aprecia que existen zonas de sombra, la estación receptora está dentro de la zona de cobertura del sistema.

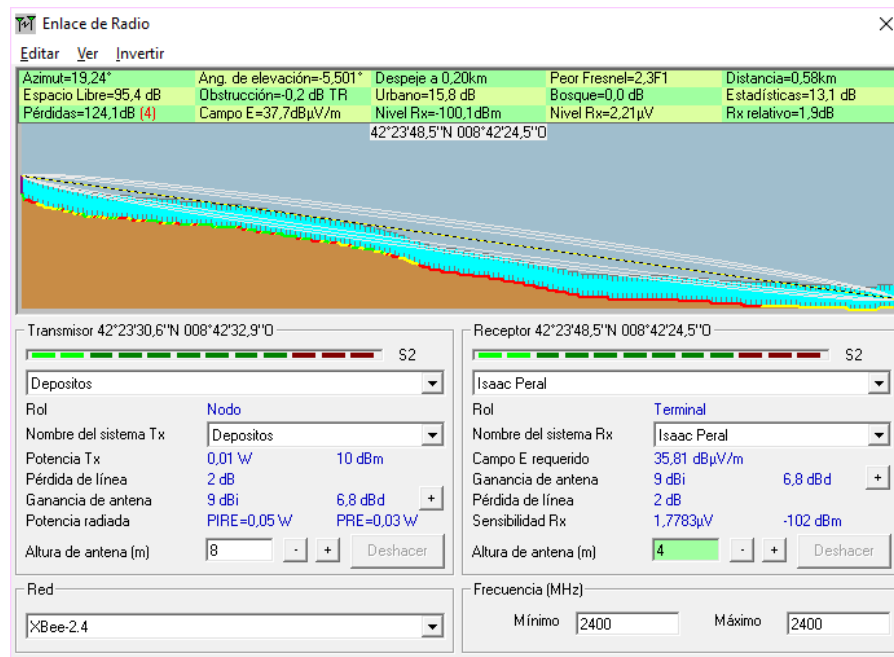


Ilustración 4.3-3 Parámetros de la simulación del enlace

Por último, se aprecia que las pérdidas totales por propagación (espacio libre y otras) son de 124 dB. Del análisis de este perfil, obtenemos un margen M por encima del valor de sensibilidad del receptor de 2 dB teniendo en cuenta que el “modo de variabilidad” elegido añade 13 dB de atenuación adicional como puede observarse en la Ilustración 4.3-4.

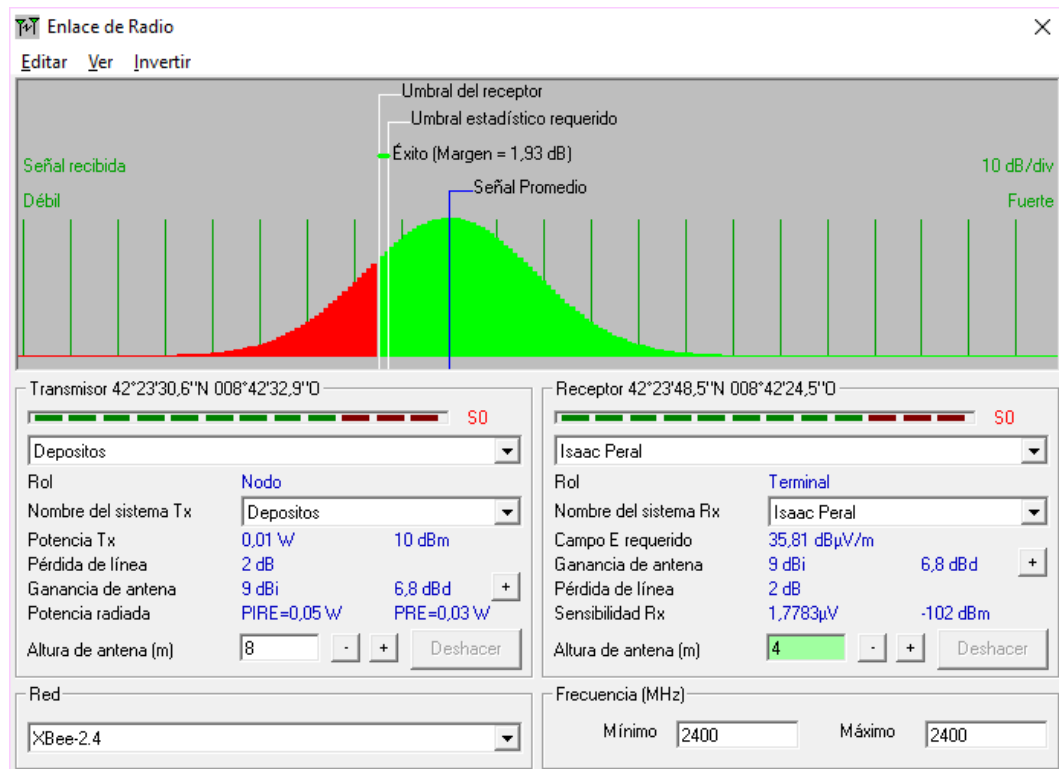


Ilustración 4.3-4 Margen de cobertura

4.4 Programa principal de envío de datos

En el apartado [3.2.2] se presentó el programa de envío de datos y su funcionamiento en líneas generales. Vamos a detallar ese funcionamiento en este apartado, así como a presentar los problemas surgidos en el proceso de programación y las soluciones adoptadas.

El sistema de envío de datos se puede separar en dos bloques. Por un lado, el de enlace y envío de información, y por otro, el de lectura de datos de los sensores y conformado de paquetes.

4.4.1 Sistema de envío de datos

Para la función de envío de datos de cualquier tipo había que satisfacer dos condiciones: la primera, establecer el enlace con la unidad receptora y la segunda, ser capaz de enviar la información que se deseaba enviar.

Lo primero entonces era ver qué estructura sigue un código de envío de datos. La secuencia es la siguiente, primero el sistema comprueba los parámetros de la red e intentar enlazar con la unidad receptora. Una vez ha enlazado, mediante la función de envío se transmite la información deseada. Al finalizar el envío, se corta el enlace.

Se definió en el código una función llamada “checkNetworkParams” que lo que hace es, mediante unas funciones de la librería de xbeeZB, comprobar los parámetros de la red y establecer el enlace con la unidad remota. En un principio surgió el problema de que las antenas no eran capaces de enlazar, y la iteración en el proceso de establecer la conexión era infinita. Se estuvo estudiando un abanico de posibles fallos (desde fallos en la configuración de la librería de las funciones hasta problemas físicos con las antenas), hasta que finalmente se descubrió que para poder establecer el enlace había que configurar uno de los módulos XBee (generalmente el receptor) como administrador de la red, y asignarles a ambos un mismo número de PAN ID (*Personal Area Network Identification*).

Solucionado el establecimiento del enlace, se pasó a programar el sistema de envío. Se generó una función llamada “enviar_paquete” que, utilizando una función de la librería XBee (xbee.ZBsend), envía un paquete en el que está la dirección del nodo receptor (se decidió hacer un sistema *Broadcast* por simplificación del código en caso de que se quisieran añadir nodos una vez la placa estaba operando) y la información a transmitir. Además, se incluyó en el código una comprobación de error, de manera que si había fallos durante el envío, la placa encendería un LED rojo.

4.4.2 Lectura del sensor

El sensor tiene varios modos de operación: salida analógica (en Vcc/512 por pulgada), serie (en formato RS232) y por ancho de pulso (que mediante un factor de conversión daba la distancia).

Por simplicidad y dado que la distancia al sensor no era elevada, se decidió usar la salida analógica. Por tanto, el código del programa de lectura de datos debía incluir en el sistema la conversión de las lecturas recibidas a las unidades más adecuadas, en este caso, centímetros.

En la programación de la placa Wasp mote, el ANALOG1, donde está conectado el sensor, nos devuelve una señal en (V/512)/inch. Siendo 3.3V (la alimentación) el máximo número de bits que puede devolver la señal del sensor, 1024, entonces 1 bit = 3.2mV.

Sabemos que tenemos 6.4mV/inch (nos los dice el fabricante del sensor) y conocemos la conversión de pulgadas a centímetros, 1 inch = 2.54 cm, por tanto, establecemos una constante que nos ayude a mostrar en pantalla las unidades en centímetros:

$$\frac{3.2mV}{bit} \div \left(\frac{6.4mV}{inch} \div \frac{2.54cm}{inch} \right) = \frac{1.27cm}{bit}$$

Además, como sabemos por los resultados obtenidos en el apartado [4.2], el sensor mide 3cm corto, por tanto, en el código, además del factor de conversión, se añade un +3, para obtener las medidas exactas.

Por otra parte, se hace también una lectura del nivel de batería, mediante la función “getBatteryLevel()”, que nos devuelve el porcentaje de batería remanente.

Estos datos, tanto los del sensor como los de la batería, junto con un contador del número de paquete, son los que se introducen en la cadena (seguidos y separados por el caracter “;” para poder procesarlos y separarlos correctamente en la recepción) y que se envían finalmente. En el apartado [4.5] se entrará en profundidad a hablar de las tramas XBee y de cómo están compuestas.

4.5 Definición de la trama de datos

Las tramas XBee, empleadas en nuestro programa, se forman con tres bytes de cabecera, una parte variable de carga útil y un byte final de checksum.

La estructura genérica de una trama de la API es la siguiente:

- Byte 1: El byte delimitador de trama, siempre tiene un valor 0x7E.
- Bytes 2 y 3: Indican el tamaño del paquete. No hay tramas de más de 255 bytes, así que el primer byte será siempre 0x00, y el segundo byte indicará un valor entre 0 y 255.
- Bytes 4 al n: Esta sección contiene la estructura específica a la API. El contenido de este segmento de trama dependerá de la función de la API que se utilice por lo que su longitud es variable.
- Byte n+1: checksum. Suma de verificación de todos los bytes contenidos en el paquete.

En nuestro caso, la trama está compuesta por 40 caracteres de información, contenidos en la variable “data” (que es una cadena que contiene los datos que se desean transmitir), más los bytes propios de la estructura de la trama XBee, quedando la trama como podemos ver en la Ilustración 4.5-1.

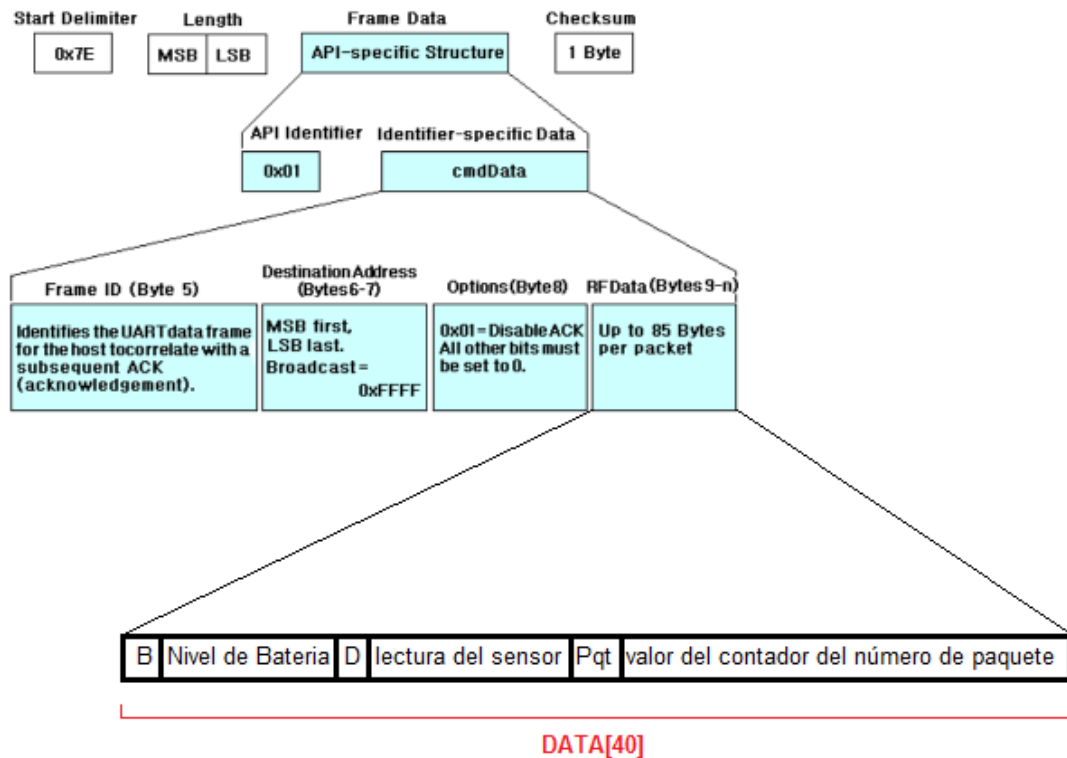


Ilustración 4.5-1 Composición genérica de las tramas enviadas por el sistema [25] (modificada)

4.6 Programa de recepción y almacenamiento de datos

En el apartado [3.2.4] se presentó el funcionamiento del programa de recepción y almacenamiento de datos con una visión de conjunto del mismo. A continuación se va a detallar el proceso de programación de este sistema y se comentarán los problemas surgidos y las soluciones adoptadas.

Como se apuntó anteriormente, la programación del sistema de recepción de datos se llevó a cabo en el entorno del software “Processing”.

En primer lugar, se definieron variables para que el sistema pudiera crear el fichero CSV con la fecha y la hora de ese momento. El siguiente paso fue configurar el programa para que leyese los datos de la antena receptora. Para ello se configuró la función “myPort.readString()” con el número de puerto USB al que estaba conectada la pasarela *Waspote Gateway*.

Una vez que se consiguió que el programa fuera capaz de recibir y leer los datos, se pasó a procesar esos datos. En primer lugar, surgieron muchos problemas en la recepción y almacenamiento, pues algunas de las tramas llegaban incompletas y al ser almacenadas, no seguían el orden en la columna que les correspondía a cada uno de los datos, haciendo que el sistema fuese inservible. Esto sucedía porque no se rellenaban todos los campos por falta de caracteres en la cadena. Para solucionarlo, se añadió una condición de comprobación al sistema, de manera que las tramas recibidas que no tuviesen, al menos, 30 caracteres (los suficientes para tener cubiertas hasta la columna de las lecturas del sensor en el fichero de almacenamiento) se desearan.

Además, en la recepción se usó la función “trim” para eliminar caracteres en blanco de la trama y se añadió a cada paquete la hora de entrada en el sistema, de forma que se facilitase el posterior procesado.

Con estas medidas se consiguió guardar ordenadamente la información obtenida, que queda presentada en una hoja de “Excel” agrupando en columnas cada uno de los datos transmitidos, como se vio en el apartado [3.2.4].

4.7 Procesado estadístico de datos off-line

Una vez que ya tenemos la información procesada y almacenada, se hace un “procesado estadístico” con los datos.

Primero se procede a la detección de los datos erróneos, que se hace formateando la hoja de Excel para detectar los valores que se salen de los límites, debido a fallos del sensor, y se eliminan manualmente.

Después se formatea otra columna para convertir la altura de agua en toneladas de agua, de acuerdo con los cálculos del apartado [4.1]. Destacar que el entorno de programación de “Waspnote” utiliza puntos para separar los decimales y “Excel” utiliza, por defecto, la coma. Por tanto, para poder trabajar los datos y operarlos con su valor decimal, hubo que configurar el archivo para que se reconociese el punto como elemento separador del decimal.

Por último, además de datos estadísticos sobre el consumo, que se comentarán como resultados en el apartado [5.2], se hacen gráficas sobre la evolución del nivel de agua en los depósitos, aportando resultados más visuales e intuitivos, y permitiendo seleccionar fácilmente los intervalos temporales que merecen mayor atención, en función de la pendiente, los máximos o los mínimos [Ilustración 4.7-1].

Altura total del depósito:	592.50 cm
Altura del depósito lleno respecto al sensor:	136.84 cm
Altura de agua inicial:	455.66 cm
Toneladas de agua (antes del vaciado):	1294.08 tn agua
Toneladas de agua por centímetro:	2.84 tn agua
Toneladas de agua (después del vaciado y llenado)	1209.06 tn agua



Ilustración 4.7-1 Ejemplo de levantamiento de gráficas usando los datos obtenidos

5 PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1 Descripción de las pruebas realizadas

Después de haber definido cada una de las partes que componen el proyecto, y tras haber completado los programas necesarios para poner el sistema en funcionamiento, solo quedaba comenzar con las pruebas.

En primer lugar, se instaló el sistema en los depósitos, como podemos ver en la Ilustración 5.1-1.



Ilustración 5.1-1 Montaje placa-antena

Como se puede apreciar en la imagen, la placa está protegida por una carcasa aislante, para evitar exponerla a posibles condiciones meteorológicas adversas. El cable blanco que se aprecia en el centro de la imagen es el que conecta la placa al sensor, situado como podemos ver en la Ilustración 5.1-2 Montaje del sensor.



Ilustración 5.1-2 Montaje del sensor

Terminada la instalación, se procedió a la realización de las pruebas de la siguiente manera:

En primer lugar, con la ayuda del personal de la oficina de mantenimiento, se aislaba el depósito de estudio, el número 2. Para aislarlo era necesario cerrar 3 válvulas:

- La de entrada de agua, para evitar el llenado continuo y poder observar el vaciado durante el consumo.
- La de rebose, para no obtener lecturas falsas sobre el desalojo de agua del depósito.
- La válvula de paso que conecta el depósito 1 con el 2, de manera que al quedar a distinto nivel no se produjese un trasvase de agua.

En segundo lugar, había que abrir la llave de paso del depósito 2 para ponerlo a consumo, cerrando las del resto de depósitos, de forma que la Escuela solo obtuviese el agua del mismo.

Una vez completados estos pasos el sistema quedaba trabajando durante las siguientes 24 horas, recolectando y enviando las lecturas del depósito mientras se consumía el agua. El hecho de tener el depósito en vaciado únicamente durante ese período de tiempo fue por las condiciones limitantes del sistema de presión de agua, que funciona por la altura de líquido que hay en el tanque; un vaciado superior a las 24 horas se habría traducido en una pérdida de presión de agua en la ENM.

Cuando habían transcurrido las 24 horas de vaciado, el personal de mantenimiento cambiaba la disposición de las válvulas, de forma que el depósito quedase llenando.

Por tanto, un ciclo completo de pruebas abarcaba 24 horas de toma de datos. Añadir que los datos que se van a exponer en el siguiente apartado son los datos medios de las pruebas realizadas tanto entre semana (2 pruebas) como en fin de semana (otras 2 pruebas).

5.2 Presentación e interpretación de los datos obtenidos

Se han realizado un total de 25637 lecturas con el sensor, repartidas en 96 horas, obteniendo los resultados que se muestran en los siguientes subapartados. Como se dijo en el apartado [3.2.127], el sensor tiene una precisión de 2.54cm, por lo cual los resultados obtenidos tienen un error de $\pm 7Tn$.

5.2.1 Pruebas en días lectivos

Días lectivos	Cantidad de agua		Período	Duración
Consumo medio diario:	254.40	Tn	(1200-1200)	(24h)
Consumo medio diario/hora:	10.60	Tn		
Consumo máximo:	20.90	Tn	(0700-0800)	
Consumo mínimo:	0.72	Tn	(1600-1700)	
Consumo duchas-desayuno:	41.34	Tn	(0600-0800)	(2h)
Consumo duchas-desayuno/hora:	20.67	Tn		
Consumo matutino:	65	Tn	(0800-1400)	(7h)
Consumo matutino/hora:	9.29	Tn		
Consumo comida:	18.94	Tn	(1400-1600)	(2h)
Consumo comida/hora:	9.47	Tn		
Consumo vespertino:	64.39	Tn	(1600-2300)	(7h)
Consumo vespertino/hora:	9.20	Tn		
Consumo nocturno:	64.74	Tn	(2300-0600)	(7h)
Consumo nocturno/hora:	9.25	Tn		

Tabla 5.2-1 Resultados en días lectivos

Como podemos observar, el período de mayor demanda de agua es el que abarca de las 0600 a las 0800, con un consumo de 41.34Tn. Este período es el que corresponde a las horas de diana, ducha y desayuno de los alumnos de la escuela, por tanto, no es de extrañar que produzcan un pico de consumo de agua.

El mínimo se produce entre las 1600 y las 1700, con tan solo 0.72Tn. Esto se puede deber a que es el horario de actividades de por la tarde de los alumnos, y la mayor parte de los servicios de la Escuela están cerrados (lavandería, el hospital, el comedor, etc).

Para obtener una visión más global, se presenta la Tabla 5.2-2.

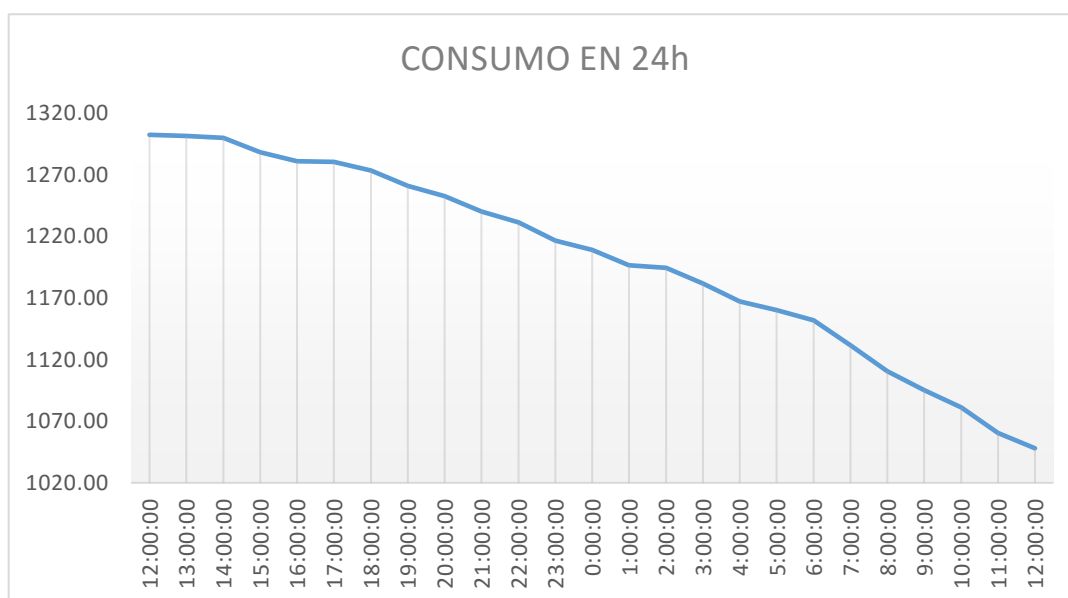


Tabla 5.2-2 Consumo en 24h en días lectivos

La cantidad inicial de agua que teníamos en el depósito era de 1302.43Tn. Pasadas 24h de consumo, con la evolución que podemos ver en la gráfica superior, la cantidad desciende a 1048.03Tn, dejando una diferencia de 254.40Tn.

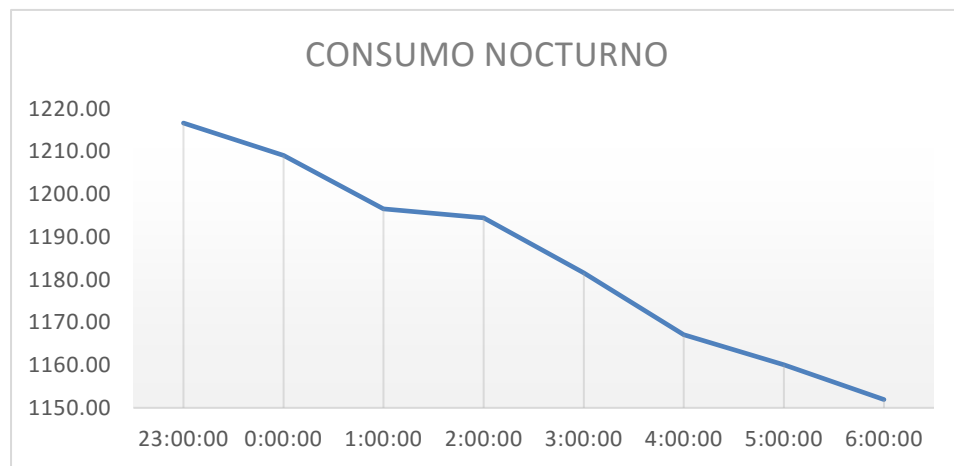


Tabla 5.2-3 Consumo nocturno en días de diario

Como se puede observar en la Tabla 5.2-3, se produce un gran consumo de agua durante la noche, en el período que comprende entre las 2300 y las 0600, previo a las duchas de los alumnos y al desayuno. Al principio de este intervalo la cantidad observada de agua es de 1216.68Tn y pasadas 7h de consumo nocturno, el remanente es de 1151.94Tn, habiendo entonces una variación de 64.74Tn, muy llamativa teniendo en cuenta que este período es de teórica inactividad. Además, se advierte que el consumo medio por hora de este período es muy similar al consumo medio por hora de todo el día.

5.2.2 Pruebas en días no lectivos

Días lectivos	Cantidad de agua		Período	Duración
Consumo medio diario:	198.85	Tn	(1200-1200)	(24h)
Consumo medio diario/hora:	8.29	Tn		
Consumo máximo:	14.66	Tn	(0800-0900)	
Consumo mínimo:	1.8	Tn	(2200-2300)	
Consumo previo a diana:	10.61	Tn	(0600-0700)	(1h)
Consumo duchas-desayuno:	24.84	Tn	(0700-0900)	(2h)
Consumo duchas-desayuno/hora:	12.42	Tn		
Consumo matutino:	31.01	Tn	(0900-1400)	(5h)
Consumo matutino/hora:	6.20	Tn		
Consumo comida:	15.78	Tn	(1400-1600)	(2h)
Consumo comida/hora:	7.89	Tn		
Consumo vespertino:	51.85	Tn	(1600-2300)	(7h)
Consumo vespertino/hora:	7.41	Tn		
Consumo nocturno:	64.77	Tn	(2300-0600)	(7h)
Consumo nocturno/hora:	9.25	Tn		

Tabla 5.2-4 Resultados en días no lectivos

En el caso de los fines de semana, el consumo máximo se reparte entre las horas de diana y desayuno del cuartel “Almirante Francisco Moreno” (0845 diana) y las del cuartel “Marqués de la Victoria” (1200 diana). Por tanto, se observa que en los períodos que comprenden de 0700 a 0900 se produce un consumo de 24.84Tn y en el que comprende de 0900 a 1400 se consumen 31.01Tn, siendo estos los valores más elevados de demanda de agua del día.

El consumo mínimo se produce entre las 2200 y las 2300, con un total de 1.8Tn, seguramente motivado por la costumbre del alumnado de cenar fuera los fines de semana.

Se han seleccionado los períodos horarios de la manera que podemos observar en la Tabla 5.2-4, para facilitar la comparación con los mismo períodos de los días lectivos.

En la Tabla 5.2-5 se presenta la evolución general del consumo en 24 horas de fin de semana.

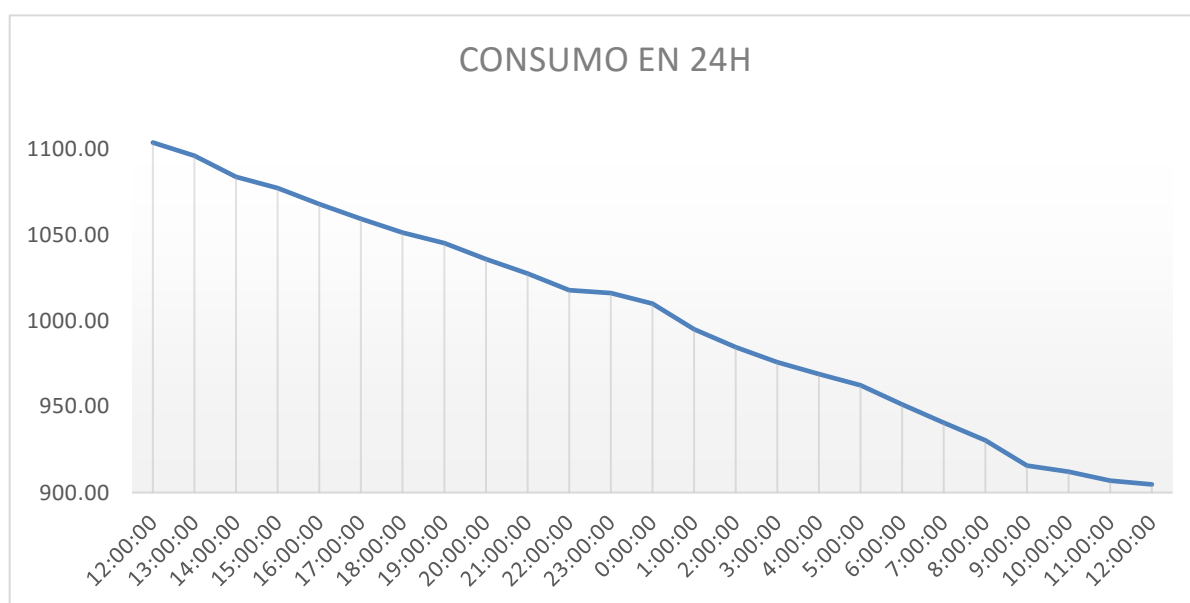


Tabla 5.2-5 Consumo en 24h en días no lectivos

La cantidad inicial de agua que teníamos en el depósito era de 1103.60Tn. Pasadas 24h de consumo, con la evolución que podemos ver en la gráfica superior, la cantidad desciende a 904.75Tn, dejando una diferencia de 198.85Tn, algo inferior a la de los días de diario, si bien hay que tener en cuenta que hay menos personal y alumnos en la Escuela.

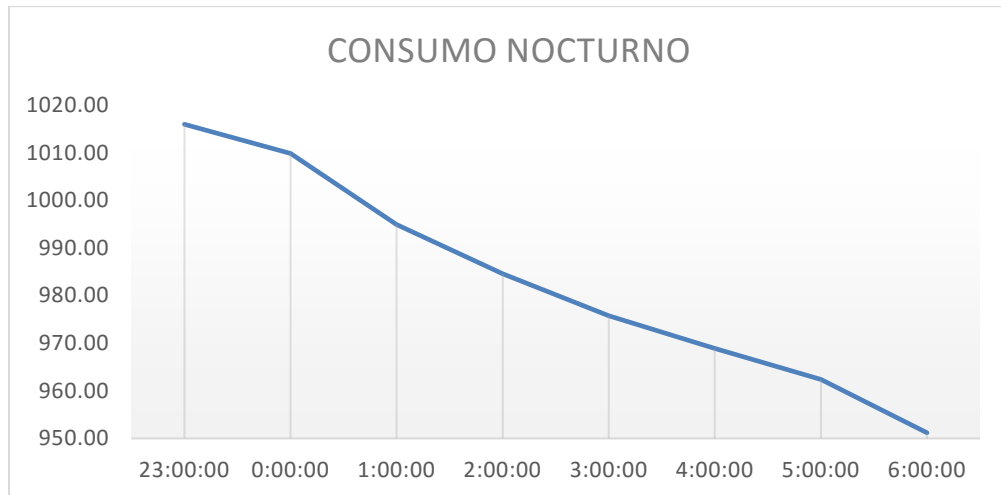


Tabla 5.2-6 Consumo nocturno en días no lectivos

De nuevo, se observa un consumo muy elevado durante la noche. Se han querido seleccionar las mismas horas que en los días lectivos, entre las 2300 y las 0600, con el objetivo de poder comparar los resultados. El consumo del fin de semana durante la noche ha resultado ser de 64.77Tn, prácticamente idéntico al obtenido durante los días de diario, 64.74Tn.

5.3 Principales conclusiones

Para concluir este proyecto, podemos afirmar que se han cumplido los objetivos planteados inicialmente, pues se ha conseguido desarrollar un sistema sencillo y de bajo coste, que permite mantener un control en remoto sobre el nivel de agua en los depósitos de la Escuela Naval.

En el ámbito académico, se puede concluir que se trata de un trabajo en el que se refuerzan algunos de los conceptos estudiados durante la carrera en asignaturas como Tecnología Electrónica, dónde se analizan diferentes sistemas y se estudia el funcionamiento de algunos circuitos electrónicos, Informática para la Ingeniería, donde se presentan por primera vez al alumno los fundamentos básicos de la programación, o Sistemas de Radiocomunicaciones, en la que se estudian todos los parámetros a tener en cuenta en el establecimiento de enlaces.

En lo referente a los resultados obtenidos, tras ponerlos en contraste con el horario del alumnado de la ENM, se ha comprobado que los picos de consumo se producen durante los períodos de las comidas y aseo personal y los consumos mínimos durante los períodos de clases y actividades docentes, como podía haberse supuesto a priori. Sin embargo, se ha detectado también un elevado consumo de agua durante la noche, equivalente a un cuarto de la demanda diaria de agua, y cuyo origen no ha podido ser definido.

Como conclusión personal, considero que este proyecto es necesario realizarlo durante un período de tiempo más prolongado, que permita obtener patrones mensuales y anuales de consumo, con el fin de conocer y predecir la demanda de agua en determinados períodos de tiempo, establecer un control positivo sobre el estado de llenado y vaciado de los tanques y detectar posibles pérdidas, todo ello con el objetivo de realizar un consumo más eficiente del agua disponible.

5.4 Mejoras y líneas futuras

El sistema desarrollado permite añadir numerosas mejoras, dada su facilidad para integrar sensores. Una de las posibles mejoras sería la implementación de una placa solar, que permitiese recargar

la batería y que le diese al sistema una autonomía ilimitada, lo cual permitiría mantenerlo trabajando de forma constante y monitorizando, en tiempo real, el estado de los depósitos.

De cara al futuro, se podría instalar un sistema por bloque de depósitos. Así, en el bloque de depósitos nº1 y nº2, una sola placa de desarrollo podría controlar dos sensores de distancia, situados en cada uno de los dos depósitos, y en el bloque de depósitos nº3, nº4 y nº5, la placa controlaría tres sensores.

Además del sensor de distancia, podría incorporarse al sistema un sensor de medida del pH, para obtener el nivel de cloro presente en el agua, y este sistema podría conectarse a la bomba de cloro, de forma que la regulase automáticamente en función de las lecturas que obtuviese.

Se podría también emplear un sistema similar a este para controlar, de forma automática, el llenado de la piscina. También se podría utilizar para monitorizar el consumo de los tanques de combustible de la estación de repostaje de la ENM. Además, aunque este sistema se ha diseñado para depósitos cerrados, es fácilmente adaptable a depósitos abiertos, tan solo sería necesario adquirir un sensor con capacidad para estar en exteriores. Así, se podría adaptar para monitorizar, por ejemplo, la altura de marea en la dársena de la Escuela.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. G. Miguel, «Mundo de Babel,» [En línea]. Available: http://1.bp.blogspot.com/--zVXawu3Z54/U757XhHmqFI/AAAAAAAAEBQ/6fZmqpSKuhY/s1600/Maler_der_Grabkammer_des_Menna_013.jpg.
- [2] «El origen de la Clepsidra,» QuHist, [En línea]. Available: <http://quhist.com/wp-content/uploads/2009/06/clepsidra.jpg>.
- [3] «Museo de Cartagena,» [En línea]. Available: http://www.museoarqueologicocartagena.es/publicas/exposiciones/exposicion_permanente/_JA_k1PXdquDH91qLVPRVtEnymSU49lF50FACPfFvIxYKB365addKg.
- [4] «Nautica San Isidro,» [En línea]. Available: http://www.nauticasanisidro.com.ar/articulo_detalle.aspx?IDA=5433&pg=SONDA%20DE%20MANO.
- [5] «Espacio Coches,» Marie Claire, [En línea]. Available: http://static4.espaciocoches.com/wp-content/uploads/2012/07/varilla-nivel-aceite_thumb.gif.
- [6] «MadeInChina,» Tianjin U-Ideal Instrument Co., Ltd., [En línea]. Available: <http://image.made-in-china.com/43f34j10pKAaiLePgtzM/Low-Pressure-Sight-Glass-Water.jpg>.
- [7] «Direct Industry,» [En línea]. Available: http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/25136-3701121.jpg.
- [8] «Monografías.com,» Monografías S.A., [En línea]. Available: <http://www.monografias.com/trabajos99/medicion-y-control-del-nivel-liquido-sistema-scada/image007.png>.
- [9] Emerson Projects Management, «Rosemount,» [En línea]. Available: <http://www.emerson.com/resource/blob/80794/1a3b240a0f742fa1675ea5820521ed41/tank-radar-pro-technical-description-3-data.pdf>.

- [10] «Rambal automatización y robótica,» e-Tape, [En línea]. Available: <http://rambal.com/presion-peso-nivel-liquido/274-e-tape-sensor-de-nivel-para-liquidos.html>.
- [11] «Smar,» Smar Equipamientos Industriales, [En línea]. Available: [http://www.smar.com/uploads/images/f4\(12\).jpg](http://www.smar.com/uploads/images/f4(12).jpg).
- [12] M. Araya, «Sensores de nivel,» [En línea]. Available: <http://snsroresdenivel.blogspot.com.es/2009/05/sensores-de-nivel.html>.
- [13] M. Ruiz, «SlideShare,» [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/MarcoRuiz18/sensores-de-nivel-48160807>.
- [14] J. M. N. Ortuño, Sistema de telemetría para aplicaciones radar de alta resolución, Universidad de Vigo, 2016.
- [15] Coltech Corporation, «Medidores de nivel. Tipos y características,» Coltech, 2009. [En línea]. Available: <http://www.coltech.es/informacion/45-medidores-de-nivel/65-medidores-de-nivel-tipos-y-caracteristicas.html>. [Último acceso: 30 Enero 2017].
- [16] «Fuel Transfer Pumps,» PIUSI, [En línea]. Available: <http://www.grisa.com.mx/web/images/pdf/PIUSI%20flowmeters/Informacion%20de%20PIUSI%20OCIO%20-%20Nivel%20de%20Tanques.pdf>.
- [17] MaxBotics Inc, «maxbotics.com,» 2005. [En línea]. Available: <http://www.maxbotics.com>. [Último acceso: Enero 2017].
- [18] Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., «Libelium,» Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., [En línea]. Available: www.libelium.com/waspmote.
- [19] «TP-link,» [En línea]. Available: <http://www.tp-link.com.mx/products/details/TL-ANT2409A.html>.
- [20] «Electronic Watterott,» Digi, [En línea]. Available: <http://static3.watterott.com/08768-03-L.jpg>.
- [21] «google.maps,» Google, [En línea]. Available: <https://www.google.es/maps/search/google+maps/@42.3859083,-8.7150838,15z/data=!3m1!4b1>.
- [22] Roger Coudé, «Radio Mobile Freeware,» [En línea]. Available: <http://cplus.org/rmw/english1.html>.
- [23] J. S. Seybold, Introduction to RF propagation, John Wiley and Sons, 2005.
- [24] George Allen Hufford, Anita G. Longley & W. A. Kissick, A Guido to the Use of the ITS Irregular Terrain Modiel in the Area Prediction Mode. Technical Report 82-100, National Telecommunications and Information Administration (NTIA), 1982.
- [25] HAC Telecom Technology Co. Ltd., «Zigbee Module Users Manual,» HAC-UBee Specification V3.X Shenzhen , [En línea]. Available: <https://fccid.io/document.php?id=1447027>.
- [26] D. Aranda, Electrónica: plataformas Arduino y Raspberry Pi, Buenos Aires: Manuales USERS, 2014.

- [27] R. P. Areny, Sensores y acondicionadores de señal, Barcelona: MARCOMBO S.A., 2003.
- [28] B. F. a. C. Reas, «Processing,» 2001. [En línea]. Available: www.processing.org. [Último acceso: Febrero 2017].
- [29] Casey Reas & Ben Fry, Processing, a programming handbook for visual designers and artists.
- [30] Casey Reas & Ben fry, Make: Getting started with Processing.
- [31] J. N. Muñoz, «DOCPLAYER,» [En línea]. Available: <http://docplayer.es/3758361-Proyecto-fin-de-carrera.html>.
- [32] «Instrumentación Industrial,» Sapiensman, [En línea]. Available: <http://www.sapiensman.com/tecnoficio/docs/images2/flotador%20industrial.jpg>.

ANEXO I: CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR

- Utiliza ganancias variables para control y supresión de los lóbulos laterales.
- Detecta objetos a distancia cero.
- Opera con voltajes de entre 2.5 y 5.5V.
- Frecuencia de lecturas de hasta 50mS (20Hz)
- La salida analógica (empleada en este trabajo) devuelve valores en $(V_{cc}/512)/\text{pulgada}$.
- Ancho de pulso de 147uS/pulgada

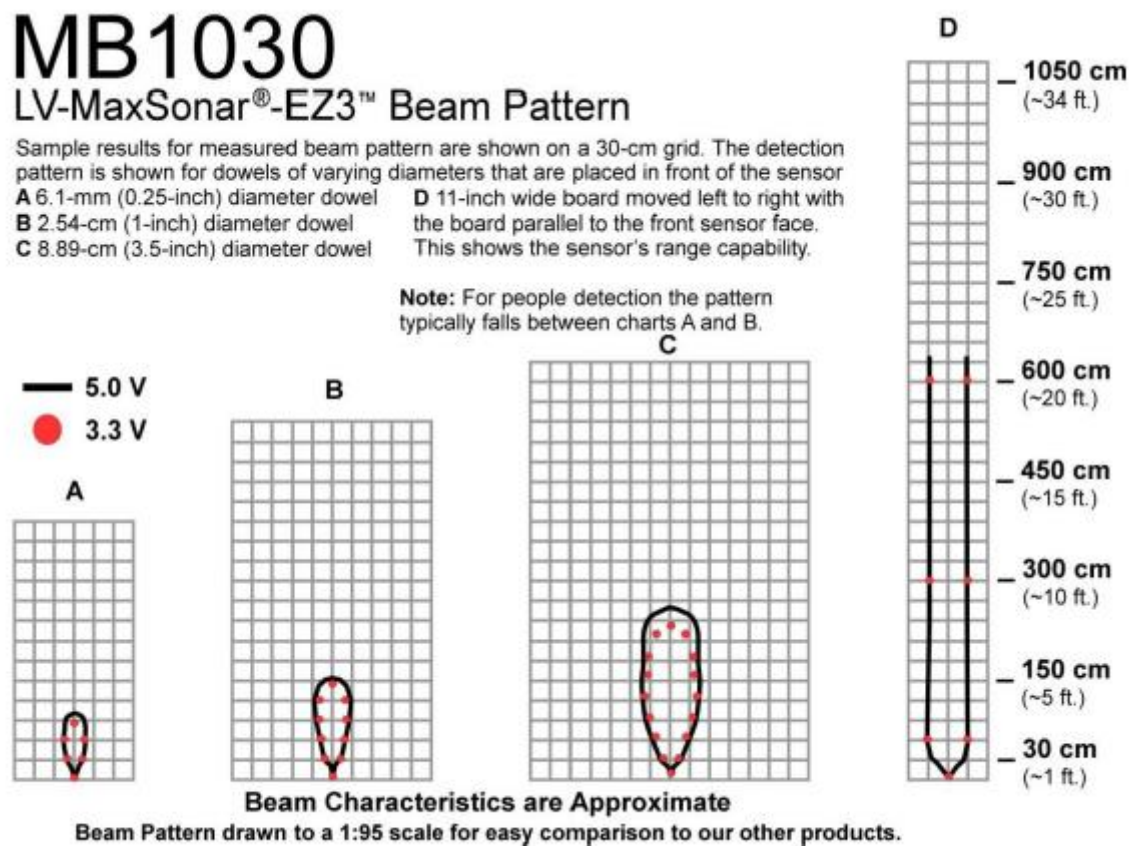


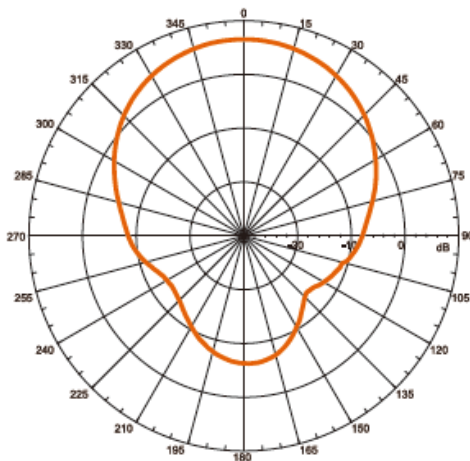
Ilustración 5.4-1 Diagrama de radiación del sensor [15]

ANEXO II: CARACTERÍSTICAS DE LAS ANTENAS

- Frecuencia: 2.4GHz
- Ganancia: 9dBi
- VSWR(máx): 1.5:1
- HPOL Beamwidth: 60
- VPOL Beamwidth: 76
- Polarización: Linear; Vertical
- Tipo de antena: Direccional
- Tipo de conector: RP-SMA Hembra
- Longitud del cable: CFD-200; 100cm
- Rango aproximado a 1/11/54Mbps: 1.77km/1km/140m
- Temperatura de trabajo: [-20°C, 65°C]
- Temperatura de almacenamiento: [-30°C, 75°C]

☉ Radiation Patterns:

V-Plane Co-Polarization Pattern



H-Plane Co-Polarization Pattern

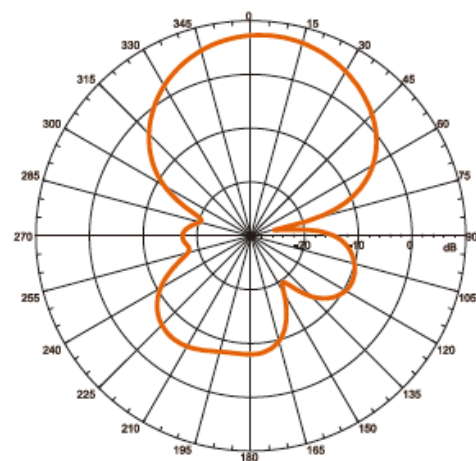


Ilustración 5.4-1 Diagrama de radiación de la antena [19]

ANEXO III: CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN EN WASPMOTE

```
#include <WaspXBeeZB.h>

char RX_ADDRESS[] = "000000000000FFFF";

uint8_t error;

char data[40];

packetXBee* packet;

float SONAR;

float constante = (3.2/(6.4/2.54));

int numpaquete = 0;

int contador = 0;

int Bateria;

char distancia[10];

void setup()
{
    PWR.ifHibernate();

    RTC.ON();

    PWR.setSensorPower(SENS_3V3, SENS_ON);

    USB.ON();

    xbeeZB.ON();

    USB.println("Antena encendida");

    delay(1500);

    checkNetworkParams();
}
```

```
void loop()

{

  if( intFlag & HIB_INT )

  {

    intFlag &= ~(HIB_INT);

    delay(3000);

  }

  contador = 0;


  while (contador < 10)

  {

    hacer_lecturas();

    enviar_paquete();

    numpaquete++;

    delay(2000);

  }

  PWR.hibernate("00:00:01:30",RTC_OFFSET,RTC_ALM1_MODE4);

}

void hacer_lecturas()

{

  SONAR = analogRead(ANALOG1)*constante+3;

  Utils.float2String(SONAR,distancia,2);

  Bateria = PWR.getBatteryLevel();

  sprintf (data,"%B;%i;D;%s;Pqt;%i:",Bateria,distancia,numpaquete);

}
```

```
void enviar_paquete()
{
    error = xbeeZB.send(RX_ADDRESS,data);

    if(error == 0)
    {
        contador++;

        delay (1000);

        Utils.blinkGreenLED();
    }
    else
    {
        Utils.blinkRedLED();
    }
}
```

```
void checkNetworkParams()
{
    // 1. get operating 64-b PAN ID
    xbeeZB.getOperating64PAN();

    // 2. wait for association indication
    xbeeZB.getAssociationIndication();

    while( xbeeZB.associationIndication != 0 )
    {
        delay(2000);
    }
}
```

```
// get operating 64-b PAN ID

xbeeZB.getOperating64PAN();

USB.print(F("operating 64-b PAN ID: "));

USB.printHex(xbeeZB.operating64PAN[0]);

USB.printHex(xbeeZB.operating64PAN[1]);

USB.printHex(xbeeZB.operating64PAN[2]);

USB.printHex(xbeeZB.operating64PAN[3]);

USB.printHex(xbeeZB.operating64PAN[4]);

USB.printHex(xbeeZB.operating64PAN[5]);

USB.printHex(xbeeZB.operating64PAN[6]);

USB.printHex(xbeeZB.operating64PAN[7]);

USB.println();

xbeeZB.getAssociationIndication();

}

USB.println(F("\nConectado a la red con éxito"));

// 3. get network parameters

xbeeZB.getOperating16PAN();

xbeeZB.getOperating64PAN();

xbeeZB.getChannel();

USB.print(F("operating 16-b PAN ID: "));

USB.printHex(xbeeZB.operating16PAN[0]);

USB.printHex(xbeeZB.operating16PAN[1]);

USB.println();

USB.print(F("operating 64-b PAN ID: "));

USB.printHex(xbeeZB.operating64PAN[0]);
```

```
USB.printHex(xbeeZB.operating64PAN[1]);  
  
USB.printHex(xbeeZB.operating64PAN[2]);  
  
USB.printHex(xbeeZB.operating64PAN[3]);  
  
USB.printHex(xbeeZB.operating64PAN[4]);  
  
USB.printHex(xbeeZB.operating64PAN[5]);  
  
USB.printHex(xbeeZB.operating64PAN[6]);  
  
USB.printHex(xbeeZB.operating64PAN[7]);  
  
USB.println();  
  
  
USB.print(F("channel: "));  
  
USB.printHex(xbeeZB.channel);  
  
USB.println();  
  
}
```


ANEXO IV: CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN EN PROCESSING

```
PrintWriter output;

int s = second();

int m = minute();

int h = hour();

String mo = str(month());

String da = str(day());

String yr = str(year());

String filename = "Nivel_" + h + m + s + "_" + da + "_" + mo + "_" + yr + "_" + ".csv";

import processing.serial.*;

Serial myPort; // The serial port

void setup() {

    // List all the available serial ports:

    printArray(Serial.list());

    // Open the port you are using at the rate you want:

    myPort = new Serial(this, Serial.list()[0], 115200);

    output = createWriter(filename);

}

void draw() {

    while (myPort.available() > 0)

    {

        String data = myPort.readString();

        int ss = second();
```

```
int mm = minute();

int hh = hour();

String data2 = trim(data);

if (data2.length() > 30)

{

String[] list = split(data2, ':');

String datos;

datos = hh + ":" + mm + ":" + ss + ";" + list[1];

if (list[1] != null)

{

output.println(datos);

output.flush();

println(datos);

}

else

{

output.close();

}

}

}

}
```