

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN COMUNICADOR HART ADECUADO A
UN TELEFONO CELULAR.

César Augusto Almeida Ortega.

Jhon Alejandro Angulo Pineda.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE

TELECOMUNICACIONES

BUCARAMANGA

2009

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN COMUNICADOR HART ADECUADO A
UN TELEFONO CELULAR.

César Augusto Almeida Ortega.

Jhon Alejandro Angulo Pineda.

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electrónico

Director

Magíster: Alfredo Rafael Acevedo

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE

TELECOMUNICACIONES

BUCARAMANGA

2009

DEDICATORIA

A Dios que me ha permitido culminar todos los objetivos que desde un principio me he planteado.

A mi padre y madre por su apoyo brindado durante todo el proceso, los cuales se convirtieron en mi apoyo moral en el momento de superar todas las dificultades.

Jhon Alejandro Angulo Pineda.

DEDICATORIA

A mi Mami y a mi Papi, por no haber dudado ni un solo instante y brindarme apoyo incondicional durante la totalidad de la carrera.

César Augusto Almeida Ortega.

AGRADECIMIENTOS

A la dirección del profesor Alfredo Acevedo, la cual contribuyó en el desarrollo de los aspectos vitales de la temática del proyecto, generando criterios técnicos y profesionales para la búsqueda de métodos en la solución de problemas.

Al profesor José Alejandro Amaya y al ingeniero Jorge Reyes, los cuales aportaron sus experiencias en el campo de investigación tratado, propiciando puntos de vista fundamentales para la finalización de este trabajo de grado.

A la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander, por permitir el uso de las herramientas necesarias para desarrollar y verificar el funcionamiento del sistema en general, mediante proceso de pruebas de laboratorio.

A todas las personas que participaron directa e indirectamente con sus aportes en la ejecución del presente trabajo de grado.

TABLA DE CONTENIDO

0. INTRODUCCIÓN	1
1. PROTOCOLO HART	2
1.1 TEORÍA DE OPERACIÓN.....	2
1.1.1 Modos de comunicación.....	2
1.1.2 Desplazamiento de Frecuencia.....	3
1.1.3 Lazo de conexión	5
1.1.4 Redes HART	6
1.2 ESTRUCTURA MENSAJE HART	7
1.2.1 Preámbulo	7
1.2.2 Inicio	8
1.2.3 Dirección.....	8
1.2.4 Comando	8
1.2.4.1 Comandos universales	8
1.2.4.2 Comandos de práctica común.....	11
1.2.4.3 Comandos específicos	13
1.2.5 Número de bytes de datos	13
1.2.6 Datos	13
1.2.7 Suma de comprobación	14
1.2.8 Estado	14
1.2.9 Estructura de un byte.	16
1.3 ESTABLECER COMUNICACIÓN CON UN DISPOSITIVO HART.....	17
2. BLUETOOTH	18
2.1 CÓMO TRABAJA.	18
2.2 CLASES DE BLUETOOTH.....	19
2.3 PERFILES.....	20
3. JAVA Y MOBILE PROCESSING	21
3.1 PROCESSING	21
3.1.1 Características.....	22

3.1.2 Ambiente de trabajo	23
3.2 MOBILE PROCESSING	25
4. DESARROLLO DEL DISPOSITIVO	27
4.1 UML (UNIFIED MODELING LANGUAGE).....	27
4.1.1 Casos de uso.....	28
4.1.2 Diagrama de paquetes.....	33
4.1.3 Diagrama de responsabilidad.....	34
4.2 ANÁLISIS DE LAS ETAPAS DEL SISTEMA	36
4.3 HARDWARE	37
4.3.1 Transmisión/recepción Bluetooth.....	37
4.3.2 Procesamiento de datos.....	40
4.3.3 Acondicionamiento Hart	42
4.3.3.1 Modulación / demodulación FSK.....	43
4.3.3.1.1 Descripción General HT2012	43
4.3.3.1.2 Operación del Módem HT2012	45
4.3.3.2 Acondicionamiento de señal	46
4.3.3.2.1 Ondas cuadradas a senoidales.....	46
4.3.3.2.2 Señal senoidal a onda cuadrada.....	48
4.3.3.3 Interfaz Hart.....	50
4.4 SOFTWARE.....	51
4.4.1 Microcontrolador.....	51
4.4.1.1 Conformación de comandos HART.....	51
4.4.1.2 Control de flujo de datos.....	51
4.4.1.3 Revisión general del programa para el M68HC908QY4A	55
4.4.2 Programa del Teléfono móvil	59
4.5 CIRCUITO DE RELOJ MODEM HT2012.....	65
4.5.1 Generación de reloj.....	66
4.6 DISEÑO FINAL.....	68
5. PRUEBAS Y RESULTADOS	70
CONCLUSIONES.....	78
RECOMENDACIONES.....	79

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Modulación de fase continua CPFSK.	3
Figura 2 Señal analógica y digital HART	4
Figura 3 Resistencia de Lazo vs. Tensión de Operación.....	4
Figura 4 Lazo de Conexión.	5
Figura 5 Modo de conexión punto – punto:.....	6
Figura 6 Modo de conexión Multipunto	7
Figura 7 Estructura mensaje HART.....	7
Figura 8 Estructura UART	16
Figura 9 Ambiente de trabajo Processing	24
Figura 10 Casos de uso.....	29
Figura 11 Diagrama de paquetes	34
Figura 12 Diagramas de responsabilidades.....	35
Figura 13 Diagrama de bloques: a) Hardware. b) Software.....	36
Figura 14 Módulo Bluetooth BlueSMiRF RPSMA	38
Figura 15 Antena DA 24-04.....	38
Figura 16 Módem RN41	39
Figura 17 Microcontrolador M68HC908QY4A.....	42
Figura 18 Entrada / salida demodulador FSK	46
Figura 19 Circuito Pasa banda	47
Figura 20 Respuesta en el tiempo circuito pasa banda	48
Figura 21 Respuesta en frecuencia circuito Pasa banda.....	48
Figura 22 Conformador de ondas Cuadradas.....	49
Figura 23 Respuesta en el tiempo circuito Conformador de ondas cuadradas.....	50
Figura 24 Diagrama de flujo rutina de recepción Microcontrolador	53
Figura 25 Diagrama de flujo rutina de transmisión Microcontrolador	54
Figura 26 Diagrama de flujo programa Microcontrolador.....	58
Figura 27 Diagrama de flujo programa Processing.....	60
Figura 28 Visualización pantalla Celular	63
Figura 29 Menú de comandos.....	64
Figura 30 Página 1 Comando 0.....	64

Figura 31	Página 1 Comando 15.....	65
Figura 32	Opciones de selección Rangos Comando 15.....	65
Figura 33	Circuito típico LT6906	66
Figura 34	Descripción de pines LT6906.....	67
Figura 35	Grafica Rset vs Frecuencia de salida	68
Figura 36	Esquemático del diseño final	69
Figura 37	Señal serial envió comando 0 usuario	70
Figura 38	Señal serial envió comando 15 usuario	70
Figura 39	Señal serial envió comando 35 usuario	71
Figura 40	Comando Hart 0 conformado por el microcontrolador.....	71
Figura 41	Parte del comando Hart 15	72
Figura 42	Parte del comando Hart 35	72
Figura 43	Mensaje HART y señal modulada CPFSK	73
Figura 44	Respuesta del filtro pasa banda.....	73
Figura 45	comando Hart vs señal modulada en CPFSK y filtrada.....	74
Figura 46	Respuesta del circuito conformador de onda cuadrada	74
Figura 47	Señales de petición y respuesta en la línea Hart.....	75
Figura 48	Transacción Hart durante variaciones de presión.	76

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Niveles de Señal.....	5
Tabla 2 Comandos HART universales.	9
Tabla 3 Comandos HART de práctica común.....	12
Tabla 4 Código de error de primer byte. Caso 1.	14
Tabla 5 Código de error de primer byte. Caso 2.	14
Tabla 6 Códigos de error de segundo byte. Caso 1	15
Tabla 7 Códigos de error de segundo byte. Caso 2.	16
Tabla 8 Perfiles Bluetooth.....	20
Tabla 9 Comandos de barra de herramientas de Processing.....	24
Tabla 10 Descripción de Actor	29
Tabla 11 Descripción caso de uso lectura ID.....	30
Tabla 12 Descripción caso de uso obtención información variable principal.....	31
Tabla 13 Descripción caso de uso Programación rangos del transmisor.....	32
Tabla 14 Descripción de Pines del HT2012	44

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS.....	83
ANEXO B DISEÑO DEL PCB.....	99
ANEXO C MANUAL DE FUNCIONAMIENTO.....	104
ANEXO D ESPECIFICACIONES TÉCNICAS HART COMMUNICATOR.....	107
ANEXO E COSTOS DE DESARROLLO.....	109

RESUMEN

Título: Diseño y construcción de un comunicador HART adecuado a un teléfono celular. ¹

Autores: César Augusto Almeida Ortega², Jhon Alejandro Angulo Pineda.³

Palabras Clave: Hart, Bluetooth, Transmisores de Presión, Microcontrolador, Honeywell, Mobile Processing.

A través del desarrollo del presente trabajo de investigación se establecen los elementos necesarios para habilitar en un teléfono celular la función que permita la comunicación exitosa entre los dispositivos inteligentes transmisores de presión Honeywell ST3000. El diseño principal de hardware del sistema consta de tres etapas fundamentales. La primera etapa se refiere al envío y recepción Bluetooth. La segunda etapa hace referencia al procesamiento de datos y la tercera etapa al acondicionamiento Hart. En cuanto al diseño del software se requiere el manejo y visualización de los datos en el teléfono celular y el tratamiento referente al procesamiento de datos, función que cumple el dispositivo microcontrolador del sistema.

La correcta comunicación con el elemento transmisor de presión ST3000, se logra al ajustar el sistema diseñado y adquirir los datos de identificación única del dispositivo inteligente. La visualización de los datos en el teléfono celular hace que los procesos tanto del hardware como del software desarrollado en Mobile Processing se complementen para ubicar una respuesta satisfactoria del sistema global. La transmisión / recepción Bluetooth se constituye como un canal que permite llevar a cabo la comunicación exitosa entre el dispositivo Hardware desarrollado y el teléfono celular.

Finalmente se logra obtener un producto que en principio logra leer y comprender el protocolo Hart, ajustándose a todos sus requerimientos funcionales los cuales permiten el correcto desempeño del dispositivo implementado.

¹ Proyecto de investigación realizado para optar al título de Ingeniero Electrónico

² y ³ Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, Director: Alfredo Rafael Acevedo.

SUMMARY

Title: Design and construction of a HART communicator appropriate to a mobile phone.⁴

Authors: César Augusto Almeida Ortega⁵, Jhon Alejandro Angulo Pineda³

Keywords: Hart, Bluetooth, Pressure Transmitters, Microcontroller, Honeywell, Mobile Processing.

Through the development of this research paper sets out the elements required to enable a cellular phone function that allows successful communication between intelligent devices Honeywell ST3000 pressure transmitters. The main design of system hardware consists of three basic steps. The first stage refers to the sending and receiving Bluetooth. The second stage refers to data processing and the third stage refers to the conditioning Hart. As for the software design requires management and visualization of data in cell phone and treatment relating to data processing, role of the system microcontroller device.

Proper communication with ST3000 pressure transmitter element is achieved by adjusting the system designed to acquire data and unique identification of the smart device. The visualization of data in the cell phone makes the process both hardware and software developed in Mobile Processing complement to locate a satisfactory answer from the global system. The transmit / receive Bluetooth is constituted as a channel that allows you to perform successful communication between hardware device developed and the mobile phone.

Finally the product is in principle able to read and understand the Hart protocol, conforming to all its functional requirements which allow for the proper performance of the device deployed.

⁴ Research project to qualify for an Electronic Engineer

⁵ & ³ Physics-Mechanical Engineering Faculty Electrical, Electronics and Telecommunications. Engineerings School, Industrial University of Santander, Bucaramanga, Colombia, Director: Alfredo Rafael Acevedo.

0. INTRODUCCIÓN

Actualmente los sistemas convergen hacia tres objetivos: movilidad, conectividad y funcionalidad. Alrededor de dos mil millones de teléfonos móviles se encuentran en el mercado y por lo tanto su uso masivo permite que el desarrollo de aplicaciones para éste tenga gran campo de acción.

La creación de aplicaciones de tipo industrial para teléfonos móviles no es muy frecuente, sin embargo es un terreno fértil para efectuar innovación tecnológica. Para esto se desea usar el teléfono celular como una herramienta que facilite los procesos de monitoreo y programación de transmisores inteligentes que se ajustan al protocolo Hart, los cuales hoy en día tienen gran aceptación dentro del campo industrial debido a su fácil adaptación a sistemas ya implementados, sin que estos requieran mayores modificaciones.

Es evidente la estrecha relación existente entre la movilidad y los sistemas inalámbricos, luego se hace interesante la inclusión de la tecnología Bluetooth en el desarrollo de la propuesta de investigación con el fin de estar a la vanguardia de los avances tecnológicos.

1. PROTOCOLO HART

El protocolo de comunicación industrial HART (Highway Addressable Remote Transducer) provee una comunicación digital a un procesador basado en procesos análogos de control de instrumentos. Originalmente la intención es permitir una calibración conveniente, ajuste de rangos, ajuste de amortiguación, etc. de procesos análogos de transmisión. El protocolo HART se convierte en el primer esquema de comunicación digital bidireccional para procesos de transmisión que no interfiere en la señal análoga. HART se ha extendido a procesos de recepción, y en algunos casos también es usado en adquisición de datos y control.

HART es desarrollado a comienzos de los 80 por Rosemount Inc. Más tarde Rosemount hizo a HART un protocolo abierto, y desde entonces ha sido organizado y promovido por *HART Communication Foundation*, la cual tiene alrededor de 114 compañías como miembros.[1]

1.1 TEORÍA DE OPERACIÓN

1.1.1 Modos de comunicación

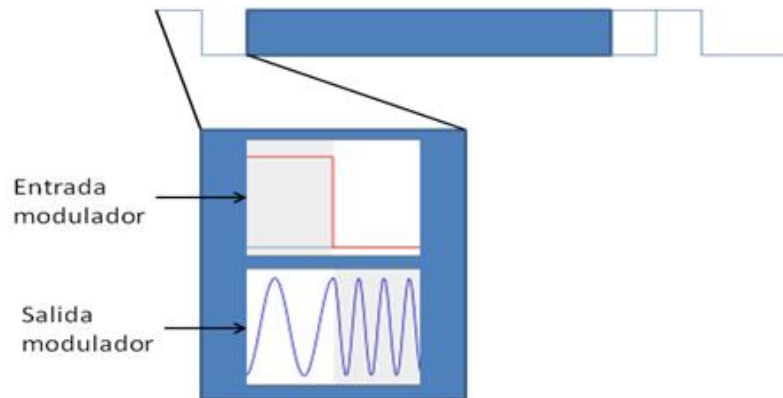
- Maestro–Esclavo: HART es un protocolo de comunicación maestro esclavo; en su operación normal el esclavo (dispositivo de campo) inicia la comunicación como respuesta a una petición hecha por el maestro. Pueden conectarse 2 maestros al lazo de corriente sin interrumpir el proceso, generalmente el maestro primario es un sistema de control distribuido (DCS), controlador lógico programable (PLC), o un computador personal y el secundario un *handheld* u otro computador. El dispositivo esclavo incluye transmisores, actuadores y controladores que responden a los comandos del primario o secundario.

- Ráfaga: algunos dispositivos HART soportan de forma opcional el modo *burst* o ráfaga, este modo habilita una comunicación rápida (3 o 4 transacciones de datos por segundo). El maestro instruye al dispositivo esclavo la transmisión continua de la respuesta estándar del comando HART. El maestro recibirá el mensaje repetidamente hasta que le indique al esclavo que detenga el modo ráfaga. [1]

1.1.2 Desplazamiento de Frecuencia

El protocolo de comunicación HART está basado en el estándar Bell 202, estándar de comunicación telefónica que opera usando el principio de modulación FSK o *frequency shift keying*. La señal digital está compuesta por dos frecuencias, 1200Hz y 2200Hz que representan bits de 1 y 0 respectivamente [2]; la modulación se realiza conservando la fase, tal como se muestra en la figura 1.

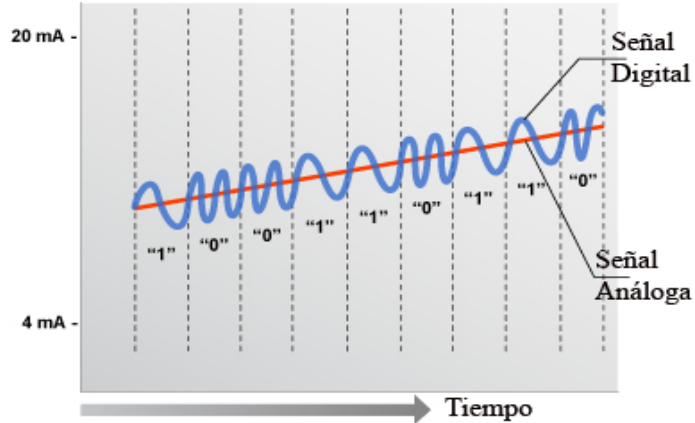
Figura 1 Modulación de fase continua CPFSK.



Fuente: The Hart Book con modificación de los autores.

Señales sinusoidales de estas dos frecuencias son superpuestas sobre la señal analógica de corriente directa (dc), en la figura 2 se puede observar la señal analógica y digital compartiendo la misma línea.

Figura 2 Señal análoga y digital HART

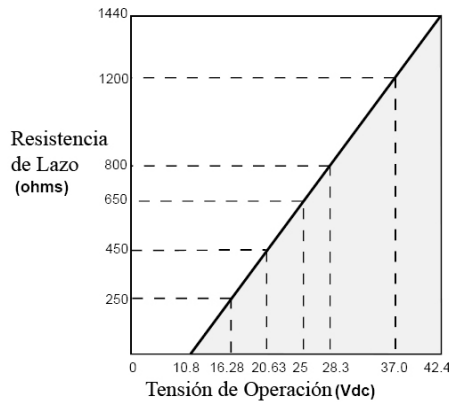


Fuente: HART Application Guide con modificación de los autores.

Debido a que el valor promedio de la señal FSK es siempre 0, la señal análoga de 4-20 mA no es afectada. La comunicación digital se puede establecer unas 2 o 3 veces por segundo sin interrumpir la señal análoga. [3]

Los dispositivos maestros trabajan señales de tensión, sin embargo los esclavos proporcionan y leen señales de corriente. Entonces el dispositivo requiere conversión de corriente a tensión lo cual se logra a través de la conexión de una resistencia de carga cuyos valores típicos se presentan en la siguiente gráfica que establece una dependencia de dicha resistencia en función de la tensión de operación del dispositivo de campo.

Figura 3 Resistencia de Lazo vs. Tensión de Operación

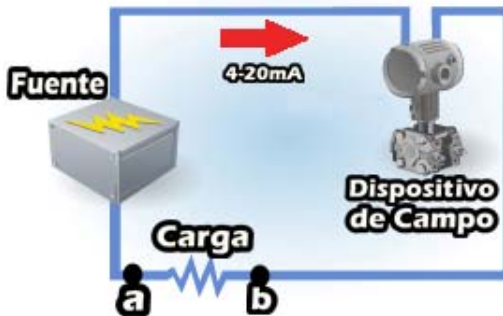


Fuente: Datasheet Honeywell ST3000

1.1.3 Lazo de conexión

El lazo de conexión típico para un dispositivo en operación normal se presenta en la siguiente figura.

Figura 4 Lazo de Conexión.



Fuente: HART Application Guide con modificación de los autores.

Entre los terminales de conexión “a” y “b” se instala el dispositivo maestro en el cual surgirán tensiones mínimas y máximas que dependerán del valor de resistencia de lazo que se decida implementar. Dichas tensiones de carga se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 1 Niveles de Señal

Señal enviada por el esclavo.		Señal enviada por el maestro.	
Valor Mínimo [mApico]	Valor Máximo [mApico]	Valor Mínimo [Vpico]	Valor Máximo [Vpico]
0.4	1.2	200	300

Fuente: Autores.

1.1.4 Redes HART

Los dispositivos HART pueden operar en una de dos configuraciones de red: punto a punto o multipunto.

- Red punto a punto (ver figura 3): en este modo la señal tradicional de 4 – 20 mA es usada para comunicar un proceso de la variable, mientras que procesos de variables adicionales, configuración de parámetros, y otros datos del dispositivo son transmitidos de forma digital usando el protocolo HART.

Figura 5 Modo de conexión punto – punto:

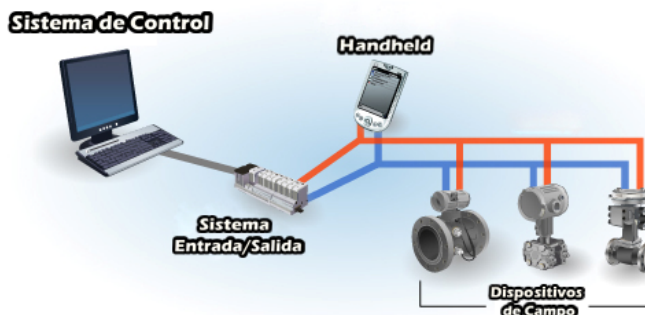


Fuente: HART Application Guide

La señal de 4 – 20 mA no se ve afectada por el protocolo HART y puede ser usada para ejercer el control sobre el proceso. La señal de comunicación digital HART entrega acceso a variables secundarias, condiciones de operación, mantenimiento y diagnóstico. [1]

- Multipunto (ver figura 4): este modo requiere solo un par de cables para la comunicación hasta con 15 dispositivos de campo. Todos los procesos y variables son transmitidos de forma digital; en el modo multipunto, todos los dispositivos tienen dirección de emisión mayor a 0, y la corriente a través de cada dispositivo es fijada a su valor mínimo (típicamente 4 mA). [1]

Figura 6 Modo de conexión Multipunto



Fuente: HART Application Guide

1.2 ESTRUCTURA MENSAJE HART

Cada comando o su respectiva respuesta constituyen un mensaje HART, estos varían de 10 o 12 bytes a típicamente 20 o 30 bytes. El mensaje HART está constituido por elementos o campos, iniciando por el preámbulo y finalizando en la suma de chequeo.

Figura 7 Estructura mensaje HART

preámbulo	inicio	dirección	comando	Conteo de bytes	estado	datos	Suma de chequeo
-----------	--------	-----------	---------	-----------------	--------	-------	-----------------

Fuente: Autores

1.2.1 Preámbulo

Se envían de 5 a 20 bytes de preámbulo, la función de esta parte del mensaje es la de permitir una sincronización y una detección de portadora. El valor de cada Byte es 255 en decimal o FF en hexadecimal.

1.2.2 Inicio

Consta de un solo byte, se usa como parte de la sincronización e iniciación del mensaje, además de informar que dispositivo maestro envía el comando; cuando el mensaje es una respuesta indica que esclavo lo envía y a que maestro va dirigido.

1.2.3 Dirección

Este campo puede estar constituido por 1 o 5 bytes, indica a que esclavo se le está enviando el mensaje, de donde proviene, y si se quiere implementar el modo ráfaga. El campo de dirección posee 5 bytes cuando se usa la dirección única para cada dispositivo, y posee sólo un byte en modo de red HART multipunto, si el dispositivo esclavo al que se quiere tener acceso es de revisión HART superior a 4, el único mensaje que tendrá respuesta exitosa enviando como dirección el byte que contiene la dirección de *polling*, será el comando 0, para todos los demás será necesario incluir el identificador único del dispositivo, lo que corresponde al envío de los 5 bytes en el campo de dirección.

1.2.4 Comando

Este campo es el que indica al esclavo la petición del maestro. El byte de comando puede tomar un valor entre 0 a 253, los comandos HART pueden ser de tres tipos: comandos universales, comandos de práctica común, y comandos específicos.

1.2.4.1 Comandos universales

Todos los dispositivos que usan el protocolo HART están en capacidad de reconocer y soportar los comandos universales. Proveen acceso a información

útil en modos de operación normal (ej. Lecturas de variables primarias y unidades). En la tabla 2, se presentan los comandos universales que se implementan con mayor frecuencia en la práctica. [1].

Tabla 2 Comandos HART universales.

Comando HART 0 : Leer Identificación Única del Transmisor	
Bytes de datos requeridos	Ninguno
Bytes de datos en la respuesta	#0 Código de expansión del dispositivo. #1 Código de Identificación del Fabricante. #2 Tipo de dispositivo del Fabricante #3 Numero de preámbulos requeridos #4 Nivel de revisión de los comandos Universales #5 Nivel de revisión del documento del transmisor #6 Nivel de revisión del Software #7 Nivel de revisión del Hardware #8 Banderas #9 Numero de identificación del dispositivo, 24 bits MSB #10 Numero de identificación del dispositivo, 24 bits #11 Numero de identificación del dispositivo, 24 bits LSB
Códigos de Respuesta	0 Error de comando no Específico 5 Conteo Incorrecto de Bytes
Comando HART 1: Lectura de variable principal	
Bytes de datos requeridos	Ninguno
Bytes de datos en la respuesta	#0 Código de unidades de la variable principal. Tabla II #1... #4 Variable principal IEEE 754.
Códigos de Respuesta	0 Error de comando no Específico 5 Conteo Incorrecto de Bytes
Comando HART 2: Lectura de la corriente y el porcentaje del rango	
Bytes de datos requeridos	Ninguno
Bytes de datos en la respuesta	#0...#3 Salida análoga de corriente. IEEE754. #4...#7 Porcentaje del rango. IEEE754
Códigos de Respuesta	0 Error de comando no Específico 5 Conteo Incorrecto de Bytes

Continuación Tabla 2.

Comando HART 3: Lectura de las variables dinámicas y la corriente.	
Bytes de datos requeridos	Ninguno
Bytes de datos en la respuesta	#0...#3 Salida análoga de corriente. IEEE754. #4 Código de unidades de la variable principal. Tabla II #5...#8 Variable principal. IEEE754. #9 Código de unidades de la variable secundaria. Tabla II #10...#13 Variable secundaria. IEEE754. #14 Código de unidades de la variable terciaria. Tabla II #15...#18 Variable terciaria. IEEE754. #19 Código de unidades de la 4ta variable. Tabla II #20...#23 4ta Variable. IEEE754.
Códigos de Respuesta	0 Error de comando no Especifico 5 Conteo Incorrecto de Bytes
Comando HART 4: Escribir dirección de escaneo (<i>polling</i>)	
Bytes de datos requeridos	#0 Dirección de escaneo del dispositivo.
Bytes de datos en la respuesta	#0 Dirección de escaneo del dispositivo.
Códigos de Respuesta	0 Error de comando no Específico 2 Selección inválida 5 Conteo Incorrecto de Bytes
Comando HART 12: Leer Mensaje	
Bytes de datos requeridos	Ninguno
Bytes de datos en la respuesta	#0...#23 Mensaje. ASCII.
Códigos de Respuesta	0 Error de comando no Específico 5 Conteo Incorrecto de Bytes
Comando HART 11: Leer Identificación Única del Transmisor asociado a Tag	
Bytes de datos requeridos	#0...#5 Tag. ASCII
Bytes de datos en la respuesta	#0 Código de expansión del dispositivo. #1 Código de Identificación del Fabricante. #2 Tipo de dispositivo del Fabricante #3 Numero de preámbulos requeridos #4 Nivel de revisión de los comandos Universales #5 Nivel de revisión del documento del transmisor #6 Nivel de revisión del Software #7 Nivel de revisión del Hardware #8 Banderas #9 Numero de identificación del dispositivo, 24 bits MSB #10 Numero de identificación del dispositivo, 24 bits #11 Numero de identificación del dispositivo, 24 bits LSB
Códigos de Respuesta	0 Error de comando no Específico 5 Conteo Incorrecto de Bytes

Continuación Tabla 2.

Comando HART 14: Lectura de Información del sensor de la variable principal	
Bytes de datos requeridos	Ninguno
Bytes de datos en la respuesta	#0...#2 Número serial del sensor. 24-bits MSB. #3 Código de unidades de límites del sensor. Tabla II #4...#7 Límite Superior del Sensor. IEEE754. #8...#11 Límite Inferior del Sensor. IEEE754. #12...#15 Spam Mínimo. IEEE754.
Códigos de Respuesta	0 Error de comando no Específico 5 Conteo Incorrecto de Bytes
Comando HART 15: Lectura de Información de salida de la variable principal	
Bytes de datos requeridos	Ninguno
Bytes de datos en la respuesta	#0 Código de selección de Alarma. #1 Código de la función de transferencia de la variable principal. #2 Código de las unidades de los rangos de valores de la variable principal. #3...#6 Rango Superior de valores de la variable principal. IEEE754. #7...#10 Rango Inferior de valores de la variable principal. IEEE754. #11...#14 Valor de Damping de la variable principal. IEEE754 #15 Código de protección de escritura. #16 Código del sello privado del Distribuidor.
Códigos de Respuesta	0 Error de comando no Específico 5 Conteo Incorrecto de Bytes

Fuente: Overview HART-commands for standard software ABB.

1.2.4.2 Comandos de práctica común

Los comandos de práctica común proveen funciones que se encuentran implementadas en una gran cantidad de dispositivos HART, pero no necesariamente en todos. La tabla 3 presenta los comandos práctica común más importante. [1]

Tabla 3 Comandos HART de práctica común.

Comando HART 34: Escribir valor de Damping de la variable principal.	
Bytes de datos requeridos	#0...#3 Valor de Damping. IEEE 754.
Bytes de datos en la respuesta	#0...#3 Valor actual de Damping. IEEE 754
Códigos de Respuesta	0 Error de comando no Especifico 3 Parámetro muy grande 4 Parámetro muy pequeño 5 Conteo Incorrecto de Bytes
Comando HART 35: Escritura de los rangos de la variable principal	
Bytes de datos requeridos	#0 Código de unidades de los valores de los rangos superior , e inferior #1...#4 Valor del rango superior de la variable principal. , IEEE 754 #5...#8 Valor del rango inferior de la variable principal. , IEEE 754
Bytes de datos en la respuesta	#0 Código de unidades de los valores de los rangos superior , e inferior #1...#4 Valor del rango superior de la variable principal. , IEEE 754 #5...#8 Valor del rango inferior de la variable principal. , IEEE 754
Códigos de Respuesta	0 Error de comando no Específico. 2 Selección Inválida. 5 Conteo Incorrecto de Bytes. 11 Valor Superior muy alto. 12 Valor Inferior Muy bajo. 13 Valores superior o inferior fuera de rango.
Comando HART 40: Entrada/Salida modo corriente variable principal.	
Bytes de datos requeridos	#0...#3 Nivel reparado de corriente de la variable principal. , IEEE 754 , mA
Bytes de datos en la respuesta	#0...#3 Nivel actual de corriente de la variable principal. , IEEE 754 , mA
Códigos de Respuesta	0 Error de comando no Específico. 3 Sobrepasso superior del parámetro. (>20.8 mA) 4 Sobrepasso inferior del parámetro. (<4 mA). 5 Error en el conteo de bytes. 11 En modo multipunto.
Comando HART 45: Ajuste de cero de la corriente directa.	
Bytes de datos requeridos	#0...#3 Nivel medido externamente de la corriente de la variable principal. IEEE 754 , mA
Bytes de datos en la respuesta	#0...#3 Nivel actual de corriente de la variable principal. , IEEE 754 , mA
Códigos de Respuesta	0 Error de comando no Específico. 3 Sobrepasso superior del parámetro. (>5 mA) 4 Sobrepasso inferior del parámetro. (<3 mA). 5 Error en el conteo de bytes. 9 No en modo de corriente 11 En modo multipunto.

Continuación Tabla 3.

Comando HART 46: Ajuste de ganancia de la corriente directa.	
Bytes de datos requeridos	#0...#3 Nivel medido externamente de la corriente de la variable principal. IEEE 754 , mA
Bytes de datos en la respuesta	#0...#3 Nivel actual de corriente de la variable principal. IEEE 754 , mA
Códigos de Respuesta	0 Error de comando no Específico. 3 Sobrepasso superior del parámetro. (>5 mA) 4 Sobrepasso inferior del parámetro. (<3 mA). 5 Error en el conteo de bytes. 9 No en modo de corriente 11 En modo multipunto.

Fuente: Overview HART-commands for standard software ABB.

1.2.4.3 Comandos específicos

Los comandos específicos representan funciones que son únicas en cada tipo de dispositivo de campo. Estos comandos acceden a configuración e información de calibración, como información acerca de la construcción del dispositivo. La información acerca de los comandos específicos está disponible en los soportes proporcionados por los fabricantes del dispositivo. [1]

1.2.5 Número de bytes de datos

Este campo de un solo byte, informa sobre la cantidad de datos que se enviarán en el mensaje, la cuenta inicia en este campo y finaliza en el campo de suma de comprobación.

1.2.6 Datos

Este campo puede estar compuesto por una cantidad de bytes que va de 0 a 253, y en él se encuentran argumentos asociados con el comando, datos que son necesarios para la ejecución del mismo.

1.2.7 Suma de comprobación

Este campo provee un mecanismo para realizar un control en la calidad de la comunicación y determinar errores. Su cálculo se realiza a partir del campo de inicio, y responde a la operación OR exclusiva entre bytes.

1.2.8 Estado

Este campo solo se incluye en el mensaje de respuesta proporcionado por el esclavo, y está constituido por dos bytes. En las tablas 4 y 5 se muestran los distintos códigos de error que se informan a través del primer byte. [3]

Tabla 4 Código de error de primer byte. Caso 1.

Bit 7=1. Error de comunicación		
Bit 6	hex C0	Error de paridad
Bit 5	hex A0	Error de invasión
Bit 4	hex 90	Error de encuadre
Bit 3	hex 88	Error de suma de comprobación
Bit 2	hex 84	0 (reservado)
Bit 1	hex 82	Rx sobreflujo de buffer
Bit 0	hex 81	Sobreflujo (indefinido)

Fuente: Hart Application Guide

O

Tabla 5 Código de error de primer byte. Caso 2.

Bit 7=0. Respuesta del comando	
Bits 6 to 0 (decodificación como un entero, ningún bit reconocido)	
0	Error de comando no específico.
1	Indefinido.

Continuación Tabla 5

2	Selección Inválida.
3	Parámetro aprobado muy grande.
4	Parámetro aprobado muy pequeño.
5	Muy pocos bytes de datos recibidos.
6	Error de comando específico del dispositivo.
7	Modo de protección contra escritura.
8-15	Múltiples significados.
16	Acceso restringido.
28	Múltiples significados.
32	Dispositivo está ocupado.
64	Comando no implementado.

Fuente: Hart Application Guide

En las tablas 6 y 7 se muestran los códigos de error que se informan a partir del segundo byte.

Tabla 6 Códigos de error de segundo byte. Caso 1

No usado	
Bit 7	Todos los bits en 0 cuando el error es reportado en el bit 1.
Bit 6	
Bit 5	
Bit 4	
Bit 3	
Bit 2	
Bit 1	
Bit 0	

Fuente: Hart Application Guide

Tabla 7 Códigos de error de segundo byte. Caso 2.

Estado de dispositivos de campo		
Bit 7	hex 80	Mal funcionamiento del dispositivo de campo
Bit 6	hex 40	Configuración cambiada
Bit 5	hex 20	Inicio en frío
Bit 4	hex 10	Mas estados disponibles
Bit 3	hex 08	Corriente fija de salida análoga
Bit 2	hex 04	Salida análoga saturada
Bit 1	hex 02	Variable no primaria fuera de los límites.
Bit 0	hex 01	Variable principal fuera de los límites.

Fuente: Hart Application Guide

1.2.9 Estructura de un byte.

Los bytes en protocolo HART son transmitidos usando una UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) convencional, la UART convierte cada byte en un carácter serial de 11 bits. Esto ocurre al agregarle a los 8 bits de datos, un bit de inicio (0 lógico), un bit de parada (1 lógico), y un bit de paridad (impar en el caso del protocolo HART) [2] como se ilustra en la figura 7.

Figura 8 Estructura UART



Fuente: The Hart Book con ajustes de los autores.

1.3 ESTABLECER COMUNICACIÓN CON UN DISPOSITIVO HART

Cada dispositivo HART posee una dirección de 38 bits, que consiste en el código del fabricante, el código de tipo de dispositivo y el identificador único del dispositivo. La dirección única de cada dispositivo es codificada a la hora de su fabricación; un maestro HART debe conocer la dirección única para lograr establecer una comunicación exitosa con el esclavo. El maestro puede aprender esta dirección usando uno de dos comandos que causan que el esclavo responda con esta dirección.

- Comando 0 (*Leer identificación única*): es el método preferido para iniciar comunicación con un dispositivo debido a que este habilita al maestro a aprender la identificación única sin que el usuario en el exterior intervenga.
- Comando 11 (*Leer identificación única por Tag*): este comando es útil cuando hay más de 15 dispositivos conectados a la red, o los dispositivos que están en la red no se encuentran configurados por diferentes direcciones de *polling*. (Es posible conectar más de 15 dispositivos en modo de red multipunto si cada uno es alimentado y aislado). En este caso se debe especificar el Tag del dispositivo. [3]

2. BLUETOOTH

Bluetooth es una tecnología para la creación de redes de trabajo personal inalámbricas (PANs). A diferencia de redes de trabajo Wi-Fi que pueden tener cientos de usuarios, PANs están diseñadas para ser usadas por una persona.

La idea se origina con un propósito simple, ser usada en dispositivos como audífonos, pantallas, adaptadores de redes, PDAs, dispositivos de almacenamiento personal, y proveer comunicación de una forma sencilla y segura con otro dispositivo. Cuando la tecnología Bluetooth se diseñó a final de los años 90 su protocolo tenía la intención de permitir el trabajo a baja potencia y bajo ancho de banda. Pero cuando el protocolo empieza a ser usado por varios fabricantes surgieron incompatibilidades entre dispositivos, y Bluetooth fue debilitado por varios años. Únicamente fue popular inicialmente en algunos teléfonos móviles con manos libres.

Los diseñadores de Bluetooth han tenido un trabajo continuo en la actualización del protocolo, y el costo de la implementación de Bluetooth en dispositivos ha estado decayendo. Actualmente Bluetooth es más penetrante que nunca, teclados y ratones Bluetooth son increíblemente comunes; una gran cantidad de autos usan manos libres con tecnología Bluetooth al igual que los video juegos usan controles inalámbricos con esta tecnología, sin mencionar que los nuevos computadores y teléfonos móviles traen la tecnología Bluetooth incorporada. [4]

2.1 CÓMO TRABAJA.

Bluetooth es un protocolo de radio para la transmisión de información digital, está situado en el espectro de 2.4 GHz de forma paralela a otros protocolos o

dispositivos como 802.11b/g (Wi-Fi), teléfonos inalámbricos, hornos microondas. El espectro de 2.4 GHz es uno de los pocos lugares en donde las ondas de radio se pueden transmitir sin la necesidad de una licencia de la FCC (*Federal Communications Commission*). La banda de 2.4 GHz hace parte del set de bandas de la ISM (*Industrial Scientific Medical*) que son de uso libre y gratuito para cualquier persona. Todo esto hace que haya una gran cantidad de lugares para este protocolo inalámbrico. Tantas tecnologías existentes en el mismo espacio y usando la misma banda pueden crear interferencia. Bluetooth intenta evitar la interferencia a través de “*frequency hopping spread spectrum*” o saltos de frecuencia en el espectro disperso. Esta es una técnica que en vez de transmitir todo sobre un solo canal, transmite un poco, salta a otra frecuencia, transmite otro poco más, salta de nuevo, y continúa transmitiendo.

Al realizar los saltos de frecuencia tan rápidamente (1600 veces por segundo), las posibilidades de ser atacados por interferencia bajan desde que no todas las frecuencias presenten la misma cantidad de ruido. [4]

2.2 CLASES DE BLUETOOTH

Bluetooth puede transmitir la información a una gran variedad de velocidades, que van desde 1.1 kbps a 2.1 Mbps, dependiendo de la aplicación y de uno de los tres niveles de potencia o clases:

- Clase 1: 100 mW de potencia, alrededor de 100 metros de rango.
- Clase 2: 2.5 mW de potencia, alrededor de 10 metros de rango.
- Clase 3: 1 mW de potencia, alrededor de 1 metro de rango.

En sus inicios muchos dispositivos Bluetooth fueron clase 3, lo que hizo que obtuviera una mala reputación y fuera considerado de poco uso. En la actualidad los dispositivos Bluetooth pueden igualar o exceder los rangos de transmisión Wi-Fi. Gracias a los avances en circuitos de baja potencia y al

progreso de la especificación, se han comenzado a cumplir las promesas de las PANs. [4]

2.3 PERFILES

Bluetooth define un set de clases de dispositivos para resolver tareas comunes. Dispositivos pertenecientes a la misma clase y al mismo sub-protocolo pueden comunicarse sin la necesidad de ningún tipo de controlador. Se ha llamado a las diversas clases de dispositivos Perfiles.

Tabla 8 Perfiles Bluetooth

NOMBRE DEL PERFIL	DESCRIPCIÓN
Head set Profile HSP	Es el perfil más común, usado en pequeños manos libres para teléfonos móviles.
Hands Free Profile HFP	Usado en carros para integrar el manos libres con el equipo de audio.
Human Interface Device Profile HID	Soporta teclados, ratones y demás dispositivos de entrada.
Object Push Profile OPP	Usado en la mayoría de celulares para el envío de tarjetas virtuales de negocios y libros apuntadores virtuales.
Basin Printing Profile BPP	Permite el acceso a impresoras.
Dialup Networking Profile DUN	Provee una forma estándar de acceso a internet.
Serial Port Profile SPP	Emulación de puerto serial.

Fuente: Autores del proyecto.

Los perfiles proveen un set de lenguajes de tareas comunes que permiten a dispositivos de diferentes fabricantes trabajar juntos. [4]

3. JAVA Y MOBILE PROCESSING.

Para lograr la adaptación del teléfono móvil como comunicador HART se hace indispensable la creación de un programa que permita la introducción y visualización de datos en pantalla. El lenguaje J2me (Java 2 micro Edition) proporciona las herramientas necesarias para cumplir con las exigencias que plantea el programa.

La edición J2me (Java 2 Micro Edition) es presentada en 1999 por Sun Microsystems con el propósito de habilitar aplicaciones Java para pequeños dispositivos. En esta presentación, lo que realmente se destacó es una primera versión de una nueva Java Virtual Machine (JVM) que podía ejecutarse en dispositivos Palm. Java Micro Edition es la versión del lenguaje Java que está orientada al desarrollo de aplicaciones para dispositivos pequeños con capacidades restringidas tanto en pantalla gráfica, como de procesamiento y memoria (teléfonos móviles, PDA's, Handhelds, Pagers, etc). Las necesidades de los usuarios de telefonía móvil han cambiado mucho en estos últimos años y cada vez demandan más servicios y prestaciones por parte, tanto de los teléfonos como de las compañías. Se ha seleccionado como herramienta de trabajo para la realización, simulación, y compilación del programa, la plataforma *mobile processing*. [5]

3.1 PROCESSING.

Para comprender las características de Mobile Processing se deben comprender primero los diferentes proyectos y tecnologías que han permitido que se cree este nuevo proyecto y se debe comenzar identificando el desarrollo histórico y elementos del proyecto Processing.

El proyecto Processing nace en el otoño de 2001 en el grupo ACG (Aesthetics and Computation Group) del MIT, mientras Ben Fry era estudiante de doctorado en el Interaction Design Institute Ivrea en Italia y Casey Reas era profesor. El proyecto nace como sucesor del proyecto liderado por John Maeda Desing By Numbers.

Actualmente Processing es un contexto para la exploración del emergente espacio conceptual habilitado por los medios electrónicos Es un ambiente para el aprendizaje de los fundamentos de la programación de computadores en el contexto de las artes electrónicas y es un ambiente donde se pueden crear bocetos electrónicos para desarrollar ideas.

Desde el 2001 Ben Fry y Casey Reas han estado desarrollando nuevas versiones de Processing, como también se ha contado con contribuciones adicionales en desarrollo, creación de múltiples librerías, proyectos asociados como el de Mobile Processing. [6]

3.1.1 Características

Processing fue concebido desde diferentes puntos de vista y con diferentes objetivos, uno de estos fue crear una herramienta que permitiera crear de manera rápida crear prototipos (sketches) de aplicaciones simplificando las tareas que se deben realizar para lograr un prototipo funcional, ser un ambiente de enseñanza de los fundamentos de la programación de computadores y un punto de transición a lenguajes de programación más complejos como C, C++ o Java.

Processing es utilizado en la creación de aplicaciones que tienen que ver con las artes electrónicas, la visualización de datos, aplicaciones interactivas, gráficos en tres dimensiones, generación de música; esto debido a la gran cantidad de funciones para dibujo en dos y tres dimensiones, manipulación de

imágenes, además de las librerías disponibles para la manipulación de sonidos y vídeo.

Processing provee su propio ambiente de desarrollo o IDE (Integrated Development Environment) que permite a través de una interfaz de usuario muy sencilla y un editor de texto con sintaxis resaltada; editar, compilar, ejecutar los sketches.

Processing permite crear dos tipos de aplicaciones, unas llamadas Applets que permiten que los sketches puedan ser incrustados en una página web y puedan ser visualizados dentro de un navegador web con el respectivo Plugin de Java. Otro tipo son las aplicaciones Standalone que no necesitan del IDE, ni de un navegador y se comportan como aplicaciones de escritorio.

Este IDE posee una licencia de código abierto que permite a cualquier persona acceder al programa para su instalación de forma gratuita, así como también permite el acceso a su código fuente.

Processing puede instalarse en diferentes plataformas como son Windows, Linux y Mac OS X y en la página oficial pueden encontrarse ejecutables para todas estas plataformas.

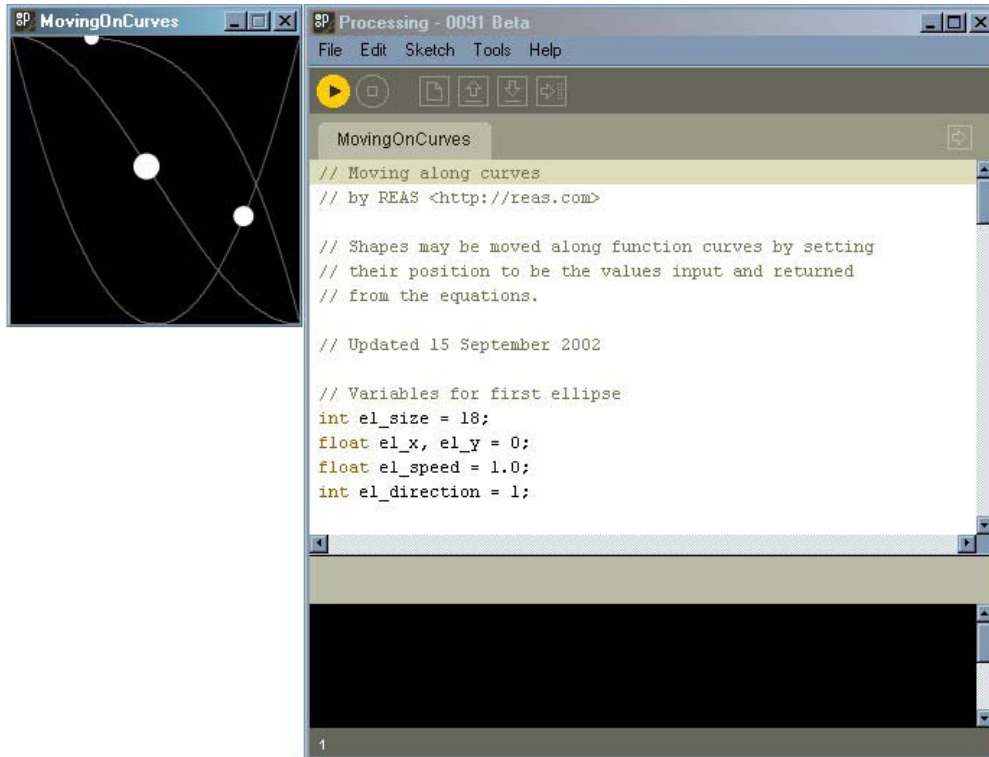
Por otro lado el lenguaje utilizado en el desarrollo de Processing y su IDE es Java, lo que permite una fácil migración a otras plataformas diferentes a las antes citadas, así como también la posibilidad de ejecutar los sketches dentro de los navegadores o como aplicaciones de escritorio y el acceso a diferentes librerías creadas en Java para extender las características de Processing. [6]

3.1.2 Ambiente de trabajo

Processing posee su propio ambiente de desarrollo o IDE el cual es simplemente un editor texto con sintaxis resaltada que permite escribir y

ejecutar sketches. Este ambiente de desarrollo posee las típicas opciones para almacenar y recuperar sketches, exportarlos, ejecutarlos, visualizar errores de sintaxis. [6]



Figura 9 Ambiente de trabajo Processing







Fuente: Mobile Processing Introduction

Este IDE posee una barra de herramientas que es muy fácil de manipular, con seis diferentes comandos: Ejecutar, Detener, Nuevo, Abrir, Guardar, Exportar.

Tabla 9 Comandos de barra de herramientas de Processing.

<p>Ejecutar</p> 	<p>Ejecuta el sketch en edición, generando el código java correspondiente, lo compila, abre la ventana de visualización y finalmente lo ejecuta.</p>
<p>Detener</p> 	<p>Detiene la ejecución del sketch, pero no cierra la ventana de visualización.</p>

Continuación Tabla 9

<p>Nuevo</p> 	<p>Crea un nuevo sketch (proyecto)</p>
<p>Abrir</p> 	<p>Permite seleccionar y cargar sketch previamente almacenados. Un menú se despliega permitiendo seleccionar sketches de su directorio de usuario, ejemplos o desde cualquier parte de su computador e incluso desde la red.</p>
<p>Guardar</p> 	<p>Permite actualizar el código del sketch en edición, es muy importante siempre actualizar el código antes de ejecutarlo. Para almacenar el sketch con otro nombre puede utilizar las opción del menú de archivo, Guardar Como</p>
<p>Exportar</p> 	<p>Exporta el sketch como un Applet embebido dentro de una pagina HTML, permitiendo publicar sus aplicaciones como paginas web.</p>

Fuente: Mobile Processing Introduction

3.2MOBILE PROCESSING

A finales del mes de septiembre de 2005 se lanza la primera versión de Mobile Processing, una versión de Processing que puede ser ejecutada en dispositivos móviles gracias a J2ME, este nuevo proyecto tiene en Francis Li su principal desarrollador el cual posee una basta experiencia en el desarrollo de aplicaciones móviles.

Características

Mobile Processing permite crear sketches de la misma forma que se hace en Processing con una leve diferencia en las primitivas del lenguaje y en el ambiente de desarrollo.

Utiliza herramientas externas para compilar los sketches para que puedan ser ejecutados en los dispositivos móviles, estas herramientas también pueden ser obtenidas a través de Internet de forma gratuita.

Utiliza un emulador típicamente provisto por la herramienta de compilación para ejecutar los sketches los cuales pueden ser probados antes de instalarlos en los dispositivos.

Las compañías proveedoras de dispositivos móviles poseen sus propios emuladores que pueden ser utilizados para probar los sketches en diferentes tipos de dispositivos antes de que sean liberados al público.

Mobile Processing es un proyecto en continuo desarrollo en el cual puede participar cualquier persona que desee colaborar con documentación, librerías, pruebas y modificaciones al núcleo del sistema.

Este ambiente de desarrollo permite crear fácilmente aplicaciones, e implementa un subconjunto de las librerías de Processing optimizadas para su utilización en dispositivos móviles, además provee un API de alto nivel para el manejo de gráficos, sonidos, y características específicas de los dispositivos como conexiones inalámbricas. [6]

4. DESARROLLO DEL DISPOSITIVO

Con el fin de definir y contextualizar el problema que se pretende resolver con el desarrollo de este trabajo de grado, se ha aplicado UML como herramienta para la obtención de los requisitos y en general para estructurar en primera instancia la solución.

4.1 UML (Unified Modeling Language)

Lenguaje Unificado de Modelado (UML, por sus siglas en inglés, *Unified Modeling Language*) es el lenguaje de modelado de sistemas de software más conocido y utilizado en la actualidad; está respaldado por el OMG (Object Management Group). Es un lenguaje gráfico para visualizar, especificar, construir y documentar un sistema. UML ofrece un estándar para describir un "plano" del sistema (modelo), incluyendo aspectos conceptuales tales como procesos de negocio, funciones del sistema y aspectos concretos como expresiones de lenguajes de programación, esquemas de bases de datos y componentes reutilizables.

Es importante resaltar que UML es un "lenguaje de modelado" para especificar o para describir métodos o procesos. Se utiliza para definir un sistema, para detallar los artefactos en el sistema y para documentar y construir. En otras palabras, es el lenguaje en el que está descrito el modelo.

Se puede aplicar en el desarrollo de software entregando gran variedad de formas para dar soporte a una metodología de desarrollo de software (tal como el proceso unificado racional o RUP), pero no especifica en sí mismo qué metodología o proceso usar.

UML no puede compararse con la programación estructurada, pues UML significa Lenguaje Unificado de Modelado, no es programación, solo se diagrama la realidad de una utilización en un requerimiento. Mientras que, programación estructurada, es una forma de programar como lo es la orientación a objetos, sin embargo, la programación orientada a objetos viene siendo un complemento perfecto de UML, pero no por eso se toma UML sólo para lenguajes orientados a objetos.

UML cuenta con varios tipos de diagramas, los cuales muestran diferentes aspectos de las entidades representadas. Los diagramas que forman parte de este estudio son: Casos de uso, Paquetes, Acciones por responsabilidad. [7]

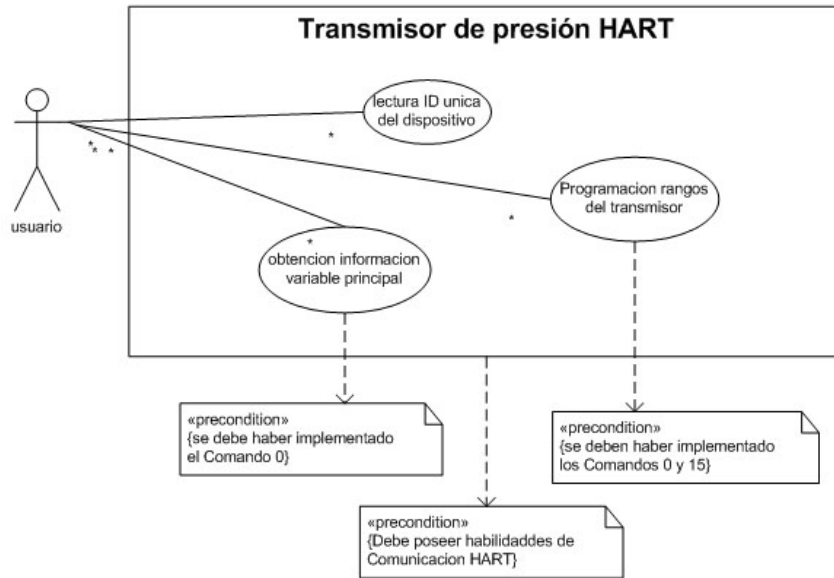
4.1.1 Casos de uso

Un caso de uso es una técnica para la captura de requisitos potenciales de un nuevo sistema o una actualización de software. Cada caso de uso proporciona uno o más escenarios que indican cómo debería interactuar el sistema con el usuario o con otro sistema para conseguir un objetivo específico. Normalmente, en los casos de usos se evita el empleo de jergas técnicas, prefiriendo en su lugar un lenguaje más cercano al usuario final. En ocasiones, se utiliza a usuarios sin experiencia junto a los analistas para el desarrollo de casos de uso.

En otras palabras, un caso de uso es una secuencia de interacciones que se desarrollarán entre un sistema y sus actores en respuesta a un evento que inicia un actor principal sobre el propio sistema. Los diagramas de casos de uso sirven para especificar la comunicación y el comportamiento de un sistema mediante su interacción con los usuarios y/u otros sistemas. O lo que es igual, un diagrama que muestra la relación entre los actores y los casos de uso en un sistema.

El diagrama de casos de uso planteado a continuación muestra los posibles escenarios que relacionan al actor con el sistema. En donde el actor es el usuario final y el sistema hace énfasis al transmisor de presión. [7]

Figura 10 Casos de uso



Fuente: Autores

En la tabla 10, se describen las características del actor que interviene directamente dentro del proceso.

Tabla 10 Descripción de Actor

Nombre:	Instrumentista.
Tipo:	Usuario
Descripción:	Un individuo que pretende obtener información acerca de un dispositivo de campo, conocer detalles acerca de su funcionamiento o programar algunas de sus funciones.

Continuación Tabla 10

Ejemplo:	<p>Un operario que desee conocer el estado de funcionamiento de un transmisor de presión.</p> <p>Un operario que requiera el cambio de los valores del rango de medida del dispositivo de campo.</p>
----------	--

Fuente: Autores

A partir de los tres requisitos establecidos por medio del diagrama de casos de uso de la figura 11, se presentan en las tablas 11, 12 y 13, la descripción de las características de estos escenarios.

Tabla 11 Descripción caso de uso lectura ID

Nombre	Lectura identificación única del dispositivo
Situación	El usuario requiere conocer la identificación única del dispositivo, al igual que información general como: nivel de la revisión HART, nivel de la documentación etc.
Resultado	El transmisor debe proveer en la respuesta su identificación única, junto con información acerca del estado actual del dispositivo y preferencias en la comunicación HART.
Actor	Instrumentista.

Continuación Tabla 11

Descripción	El usuario deberá enviar al transmisor el comando 0 cuya estructura y características físicas se encuentran predefinidas, y el transmisor a su vez responderá enviando los datos asociados al comando
Esencia	Aprender la identificación única del dispositivo y su nivel de revisión para tener acceso a otros comandos.

Fuente: Autores

Tabla 12 Descripción caso de uso obtención información variable principal

Nombre	Obtención de información variable principal
Situación	El usuario requiere obtener o verificar información acerca de la variable principal del dispositivo, código de unidades, rango de valores y si se ha implementado el código de protección a escritura.
Resultado	El transmisor debe proveer en la respuesta el código de selección de alarma, código de unidades, rangos de valor superior e inferior, factor de amortiguación, código contra escritura, etc.
Actor	Instrumentista.

Continuación Tabla 12

Descripción	El usuario deberá enviar al transmisor el comando 15, incluyendo la identificación única del dispositivo en caso de que este sea de revisión 4 o superior.
Esencia	Obtener información que permita la correcta interpretación de la medida de la variable principal, al igual que información necesaria en caso de querer realizar una variación de los rangos de medida.

Fuente: Autores

Tabla 13 Descripción caso de uso Programación rangos del transmisor.

Nombre	Programación de los rangos del transmisor
Situación	El usuario desea modificar los rangos superior e inferior de medida del transmisor de presión.
Resultado	El transmisor debe establecer unos nuevos rangos superior e inferior de medida.
Actor	Instrumentista.
Descripción	El usuario deberá enviar al transmisor el comando 35, incluyendo la identificación única del dispositivo en caso que este sea de revisión 4 o superior, el código de unidades, los nuevos rangos superior e inferior y el código de protección de escritura.

Continuación Tabla 13

Esencia	Ajustar los rangos de medida del transmisor a las necesidades o características del proceso.
---------	--

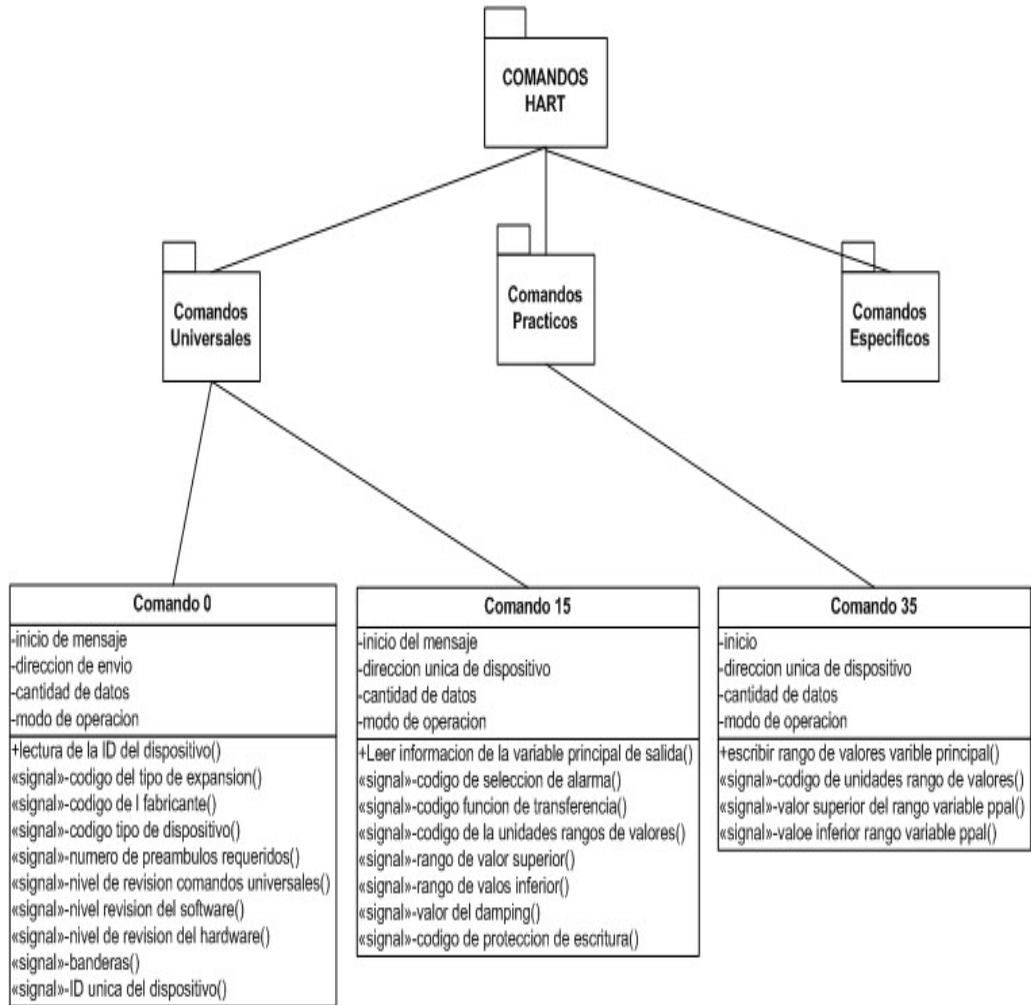
Fuente: Autores

4.1.2 Diagrama de paquetes.

Los diagramas de paquetes se usan para reflejar la organización de paquetes y sus elementos. Cuando se usan para representaciones, los diagramas de paquete de los elementos de clase se usan para proveer una visualización de los espacios de nombres. Los usos más comunes para los diagramas de paquete son para organizar diagramas de casos de uso y diagramas de clase, a pesar de que el uso de los diagramas de paquete no es limitado a estos elementos UML.

En el diagrama de paquetes de la figura 12 se muestra la información relacionada con los comandos Hart, que permiten la ejecución de los casos de uso. En ellos se describen su estructura, su función y el resultado de su implementación. [8]

Figura 11 Diagrama de paquetes

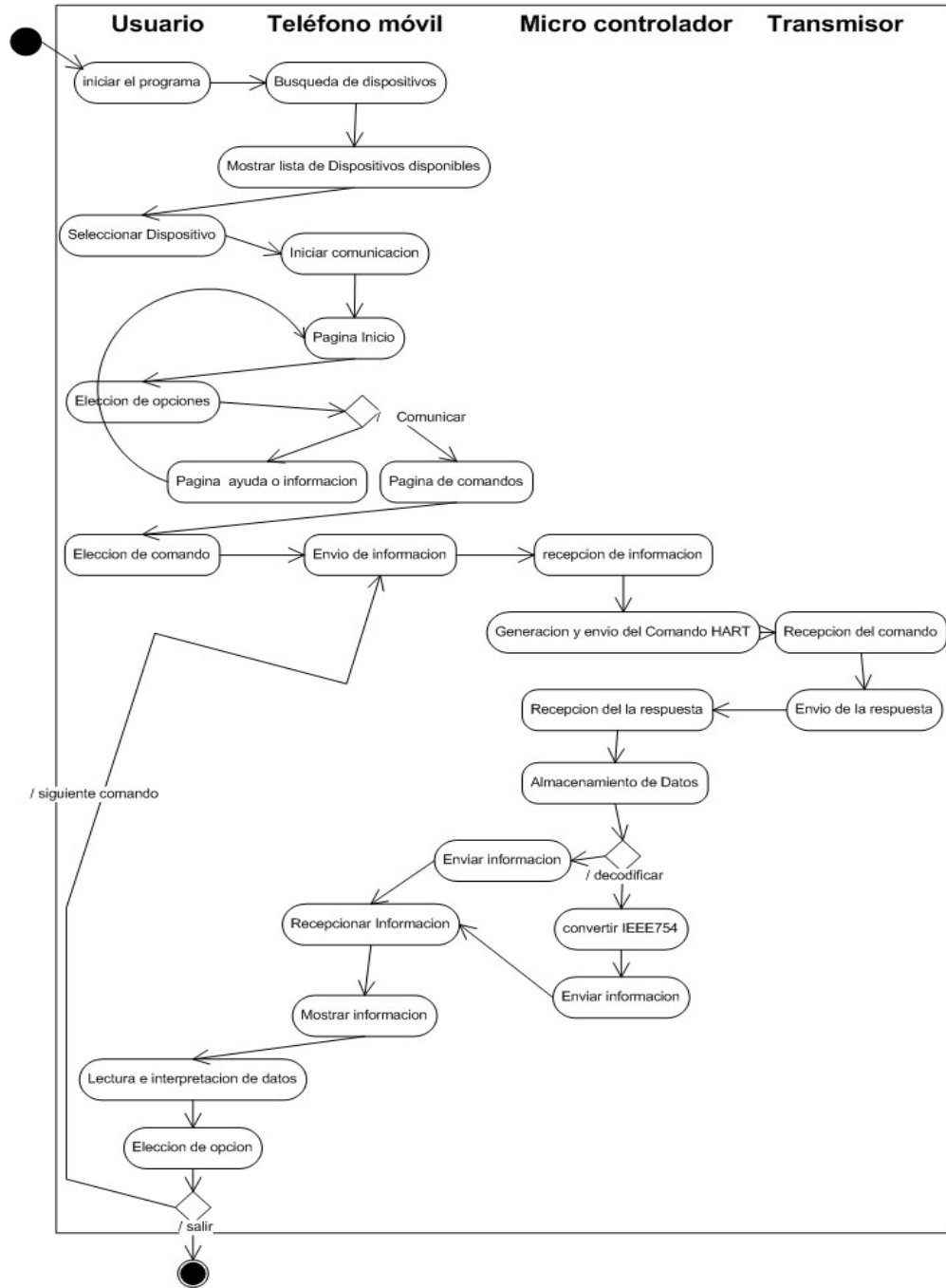


Fuente: Autores

4.1.3 Diagrama de responsabilidad

Se genera una secuencia de acciones global en la cual se presenta una transición de estados. En la figura 13 se distribuyen las diferentes responsabilidades que cada uno de los componentes poseen en las diversas etapas de ejecución del sistema. [8]

Figura 12 Diagramas de responsabilidades.



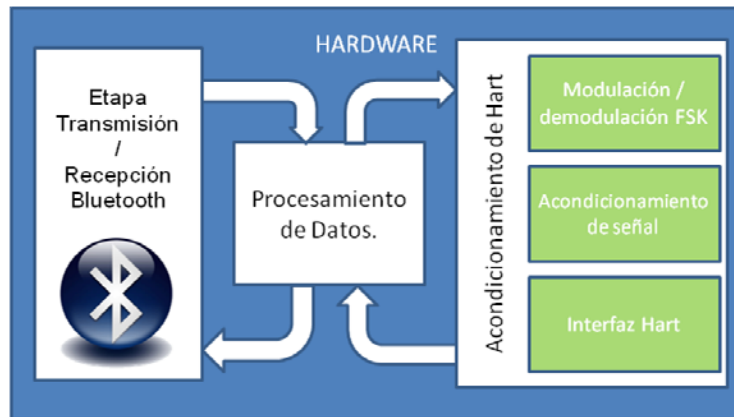
Fuente: Autores.

4.2 Análisis de las etapas del sistema

A partir del análisis de casos de uso, diagramas de paquetes y diagramas de responsabilidades presentado anteriormente, se establecen los requerimientos de los componentes Hardware y Software que van a intervenir en el desarrollo de este trabajo de grado.

A continuación se plantea un diagrama de bloques para esquematizar las distintas etapas obtenidas a partir del estudio de requerimientos UML.

Figura 13 Diagrama de bloques: a) Hardware. b) Software



a)



b)

Fuente: Autores.

El hardware del sistema está compuesto por las etapas de transmisión/recepción Bluetooth, procesamiento de datos, acondicionamiento Hart.

El Software está compuesto por la etapa de visualización e ingreso de datos en el teléfono móvil y el programa asociado a la etapa de procesamiento de datos.

4.3 HARDWARE

4.3.1 Transmisión/recepción Bluetooth.

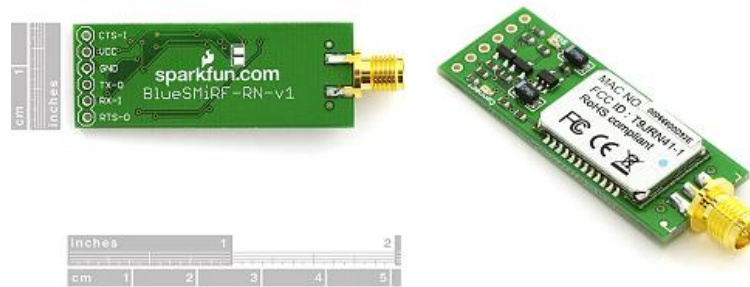
Esta etapa del sistema está compuesta por los dispositivos necesarios para ejecutar una correcta comunicación Bluetooth entre el teléfono móvil y la etapa de procesamiento de datos.

Para llevar a cabo esta tarea se hace necesario la integración de un módulo Bluetooth que se encargue de acondicionar las señales de modo serial a Bluetooth y vice versa.

Módulo Bluetooth

El BlueSMiRF es el último dispositivo Bluetooth para reemplazar cable serial de la compañía Sparkfun Electronics. Soporta tasas de transmisión desde 2400 a 115200 bps, y está en capacidad de conectarse con cualquier dispositivo que soporte el perfil bluetooth SPP. El BlueSMiRF puede ser alimentado desde 3.3v a 6v, incluye hardware de control de flujo (pines cts y rts), posee alcance en espacio abierto de hasta 106m. [9]

Figura 14 Módulo Bluetooth BlueSMiRF RPSMA



Fuente: Sparkfun.com

El BlueSMiRF posee las siguientes características técnicas:

- Módem Bluetooth clase 1.
- Configuración UART
- Bajo consumo de potencia 25mA avg.
- Compatible con dispositivos Bluetooth que manejen el perfil SPP, además de incluir soporte para los protocolos BCSP, DUN, LAN, GAP SDP, RFCOMM, y L2CAP.
- Conector RP-SMA para antenas de 2.4 GHz.

Se ha adquirido la antena DA 24-04 del fabricante Chang Hong Technology, esta antena es de tipo dipolo, posee una frecuencia de trabajo de 2.4 GHz, y una ganancia de 2 dBi. [9]

Figura 15 Antena DA 24-04



Fuente: Sparkfun.com

El módulo BlueSMiRF ve soportada su capacidad de conexión bluetooth gracias a la utilización del módem Bluetooth RN41 de la compañía Roving Networks.

El RN41 realiza modulación FHSS/GFSK, de 79 canales con intervalos 1MHz, además realiza una encriptación de datos de 128 bits.

Figura 16 Módem RN41



Fuente: Rovingnetworks.com

BlueSMiRF posee un set de comandos AT, varios controles y opciones de configuración están disponibles a través de estos comandos. Los comandos pueden ser introducidos al módem de forma remota, por medio de una conexión Bluetooth, o realizando la conexión a través de la interfaz serial. La programación del módem puede hacerse fácilmente con una serie de comandos ASCII. [10]

Modos de operación

Varios modos de operación pueden ser cambiados por medio del comando SM. Slave mode (SM,0): es el modo que trae programado por defecto, en este modo cualquier otro dispositivo Bluetooth puede descubrir y conectarse al módem.

Master mode (SM, 1): este modo es empleado, cuando el módem es quien decide establecer la comunicación con otro dispositivo, en este modo el módulo no puede ser reconocido o conectado.

Trigger Master mode (SM, 2): en este modo del módem se conectará de forma automática con la dirección de esclavo que tenga pre-configurada al recibir un carácter en la UART local.

Auto connect Master mode (SM, 3): se iniciará al encenderse la conexión de forma automática con una dirección remota, que se tiene previamente almacenada. En caso de no tener dirección previamente almacenada se iniciará conexión con el primer dispositivo que se encuentre.

Auto connect DTR mode (SM, 4): este opera exactamente igual que auto connect master mode, con la única diferencia de que la conexión o desconexión puede ser realizada por medio de un switch externo.

Auto connect any mode (SM, 5): la operación de este modo es similar a la de auto connect DTR mode, sólo varía en que cuando el switch es accionado el módem se conecta con el primer dispositivo que encuentre. [10]

4.3.2 Procesamiento de datos.

Esta etapa está constituida por un microcontrolador que se encarga de realizar el control de flujo de datos, así como la conformación de señales necesarias para establecer comunicación con el dispositivo de campo.

Microcontrolador

La selección del microcontrolador encargado de manejar los comandos Hart del proyecto se basa en el amplio conocimiento de la familia HC08 de Freescale en las aplicaciones de los diversos proyectos de grado y proyectos de asignatura elaborados en la escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander.

Todo microcontrolador requiere de una tarjeta que permita la programación de los puertos de dichos circuitos integrados, luego la facilidad de adquirir las tarjetas de programación o de fabricarlas se convierte en una necesidad adicional a los requerimientos técnicos del microcontrolador.

Se ha seleccionado para el desarrollo del proyecto, el microcontrolador MC68HC908QY4A. Su selección se debe a que las características técnicas que presenta este dispositivo son adecuadas para los requerimientos del proyecto.

El MC68HC908QY4A es un dispositivo de bajo costo, el programador necesario es de fácil construcción. En proyectos anteriores con requerimientos de procesamientos de datos similares, se ha hecho uso del MC68HC908GP32, sin embargo su uso se debe a que posee módulo de teclado y de manejo de pantalla, características no necesarias para este trabajo de grado.

Descripción General

El microcontrolador MC68HC908QY4A es miembro de la familia M68HC08 de microcontroladores con unidad de procesamiento (CPU 08), familia con alto rendimiento, que tiene disponibles una gran variedad de módulos, tamaños y tipos de memoria, además de diferentes tipos de empaquetado.

La unidad central de procesamiento CPU08 puede direccionar 64 Kbytes de espacio en memoria. La distribución del mapa de memoria del MC68HC908QY4A deja a disposición del usuario:

- 4096 Bytes de memoria Flash
- 128 Bytes de memoria RAM

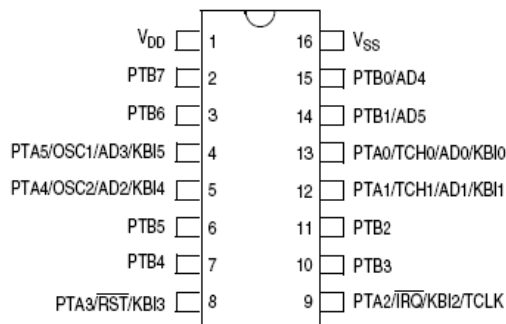
El M68HC908QY4A tiene 14 puertos bidireccionales de entrada / salida. Los puertos disponibles son el A y el B, cada uno de estos puertos maneja un total

de 8 bits. El puerto A tiene sus 8 bits asociados a servicio multipropósito entrada / salida compartido con funciones especiales, como módulo de teclado, conversores análogo / digital, timer, interrupción asincrónica, y reset asincrónico. El puerto B tiene 6 de sus 8 bits dedicados sólo a multipropósito entrada / salida y dos bits restantes que comparten la función multipropósito entrada / salida con conversores análogo digital. [11]

El microcontrolador es alimentado por medio de los pines VSS y VDD, permite alimentación sencilla de 3 a 5v. Se puede usar el reloj interno o conectar un oscilador entre sus pines OSC1 y OSC2, para ser usado como reloj.

Pines del microcontrolador M68HC908QY4A en empaquetado SOIC

Figura 17 Microcontrolador M68HC908QY4A.



Fuente: Datasheet M68HC908QY4A.

4.3.3 Acondicionamiento Hart

Esta etapa se encuentra constituida por elementos que funcionalmente se complementan: Modulación / demodulación FSK, Acondicionamiento de Señal, interfaz Hart.

4.3.3.1 Modulación / demodulación FSK

Las características de la capa física del protocolo Hart, hacen necesaria la inclusión al proyecto de un dispositivo que realice tanto la modulación como la demodulación de señales FSK con fase continua.

El módem HT2012 está diseñado para proveer capacidad de comunicación HART en control de procesos de instrumentación y equipos de poco consumo de potencia, ofreciendo en un solo chip de forma confiable la capacidad de la capa física de HART.

El HT2012 posee circuitería digital y cumple las funciones de modulación y demodulación, su diseño hace necesario circuitos externos de amplificación y filtrado, así como un reloj de 460.8 kHz.

4.3.3.1.1 Descripción General HT2012

El módem HT2012 opera bajo el estándar de modulación Bell 202, con una tasa de transmisión de 1200 bits por segundo, su modulación es FSK y usa las frecuencias de desplazamientos nominales de 1200 Hz y 2200 Hz del estándar Bell 202. Actualmente solo es posible encontrarlo en empaquetado PLCC de 28 pines.

Aunque el módem cuenta con líneas individuales para la transmisión y la recepción su operación es *Half duplex*, siendo controladas las funciones de modulación y demodulación mediante el pin INTRS. [12]

En la Figura A1 se aprecia la distribución de pines del módem HT2012.

Tabla 14 Descripción de Pines del HT2012

SEÑAL	I/O	PLCC pin	DESCRIPCION
VDD	I		Alimentación de + 3.3 a 5v
019_2k	O		Reloj de usuario 19.2 kHz nominales
OCD	O		Detección de portadora (0 cuando la portadora esta presente)
IRXA	I		Entrada del demodulador (acepta portadora con frecuencias de 1200 y 2200 Hz)
TEST1	I		Entrada de prueba 1. Conectada Vss durante operación normal.
ORXD	O		Salida del demodulador. Proporciona un 1 lógico en respuesta a una señal cuadrada de 1200Hz presente en IRXA, un 0 lógico a 2200 Hz. La demodulación solo tiene lugar si la señal INRTS esta en alto. ORXD es indefinida cuando INRTS esta en bajo.
VSS	I		Tierra
OTXA	O		Salida del modulador, entrega una señal FSK cuadrada de 1200 Hz, en respuesta a un 1 lógico presente en ITXD; 2200 Hz en respuesta a un 0 lógico. El modulador esta activo cuando el nivel de INRTS es bajo, y toma un valor de alta impedancia en caso del nivel de INRTS sea alto.
INRTS	I		Selecciona la operación de modulación cuando se le proporciona un nivel bajo, y de demodulación en caso de un alto.
TEST 0	I		Entrada de prueba 0. Conectada a Vss durante operación normal.
ITXD	I		Entrada del modulador. Acepta 1 o 0 lógico
I 460k	I		Entrada de reloj. Valor nominal de 46.8 kHz

Fuente: Datasheet HT2012

4.3.3.1.2 Operación del Módem HT2012

El HT2012 presenta 4 grandes bloques funcionales: operación de relojes, modulación, demodulación y detección de portadora. [12]

- Operación de relojes

El módem requiere para su funcionamiento una señal digital externa de reloj de 460.8 kHz, todos los circuitos internos están diseñados para trabajar con este reloj o relojes generados a partir del mismo. La frecuencia de 460.8kHz es relativamente más baja que la de otros chips, lo que implica un consumo de potencia mas bajo. El consumo de potencia es además reducido por varias secciones del módem que apagan sus relojes cuando no están en uso.

Un reloj generado internamente con una frecuencia nominal de 19.2kHz se encuentra disponible en un pin de salida, y su propósito es ofrecer una opción para sincronizar la reconstrucción de datos al exterior del módem.

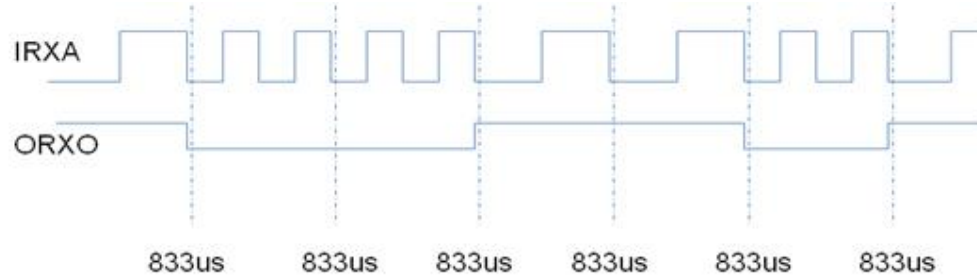
- Modulación

Los datos a modular son proporcionados en forma NRZ en la entrada ITXD, una señal modulada en FSK es generada en la salida OTXA. El modulador provee una modulación de fase continua, el ángulo de fase de la señal modulada es preservado durante el proceso de modulación cuando ocurre un cambio entre frecuencias. El modulador asigna en OTXA una señal de 1200Hz para una marca y de 2200 Hz para un espacio.

- Demodulador

El demodulador acepta una señal FSK en el pin IRXA y reproduce la señal original modulada en el pin de salida ORXD, ambas señales son digitales. En la siguiente figura se puede apreciar el resultado del demodulador.

Figura 18 Entrada / salida demodulador FSK



Fuente: Autores.

- Detección de portadora

El pin de salida de detección de portadora se mantiene en nivel bajo o 0 lógico cuando se presenta un valor válido de portadora, valores de portadora de 1000 a 2575 Hz pueden ser detectados. La detección ocurre si frecuencias de 1200 y 2200 Hz se mantienen al menos por 40 ns, y la línea portadora adquiere un 1 lógico si la portadora se pierde por 1 ms.

4.3.3.2 Acondicionamiento de señal

El modem Hart realiza modulación y demodulación FSK sobre ondas cuadradas, sin embargo la capa física de Hart requiere que las señales digitales que son enviadas por el lazo de corriente sean sinusoidales. Por este motivo se hace necesario la implementación de una sección de filtrado. La cual está desarrollada sobre la configuración de filtros activos, que proporcionan una mayor estabilidad y mejores características eléctricas a la etapa.

4.3.3.2.1 Ondas cuadradas a senoidales.

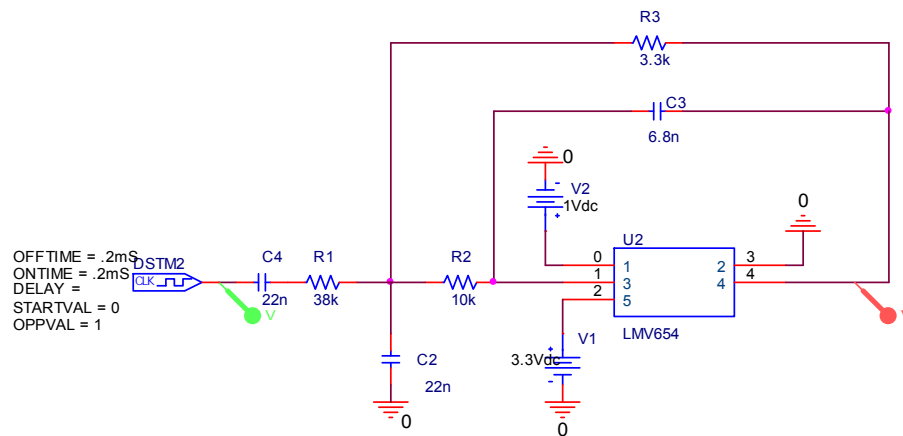
Esta etapa se constituye como el filtro de salida del módem HT2012, su función es la de convertir la señal cuadrada proveniente del módem en una señal

senoidal, que pueda ser superpuesta en la línea HART para que sea leída por el transmisor de presión.

El filtro suprime todas las componentes de frecuencia superior a los 2200 Hz, lo que genera que las componentes espectrales secundarias de la señal cuadrada no se presenten a la salida del filtro, situación que genera que la señal adquiera la forma senoidal deseada.

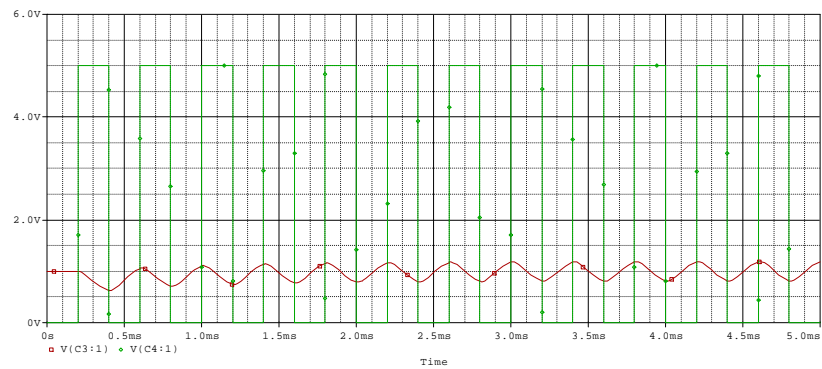
Siguiendo la bibliografía consultada y las recomendaciones encontradas en la hoja de datos del módem HT2012, se ha implementado un filtro Butterworth de orden 2, con frecuencia de corte de 2250 Hz. A esta configuración se le ha incluido un capacitor de entrada para evitar el paso de posibles señales de continua provenientes del modem Hart.

Figura 19 Circuito Pasa banda



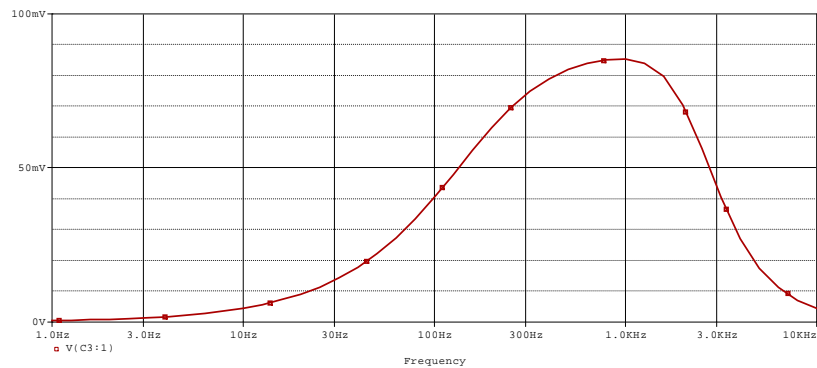
Fuente: Autores

Figura 20 Respuesta en el tiempo circuito pasa banda



Fuente: Autores

Figura 21 Respuesta en frecuencia circuito Pasa banda



Fuente: autores

Se ha usado para la implementación del filtro el amplificador operacional LMV654.

4.3.3.2.2 Señal senoidal a onda cuadrada

Esta etapa se constituye como filtro de entrada para el módem HT2012, su función es la de acondicionar la señal senoidal obtenida del transmisor y convertirla en ondas cuadradas que puedan ser interpretadas por el módem. Se ha propuesto como solución en este proyecto un circuito basado en la aplicación de circuitos biestables como comparadores.

El comparador es un bloque de construcción de circuitos analógicos utilizado en varias aplicaciones que van desde la detección del nivel de una señal de entrada con respecto a un valor de umbral establecido, hasta el diseño de conversores analógicos a digitales (A/D). En este caso se plantea como comparador de nivel con respecto de una fuente de referencia.

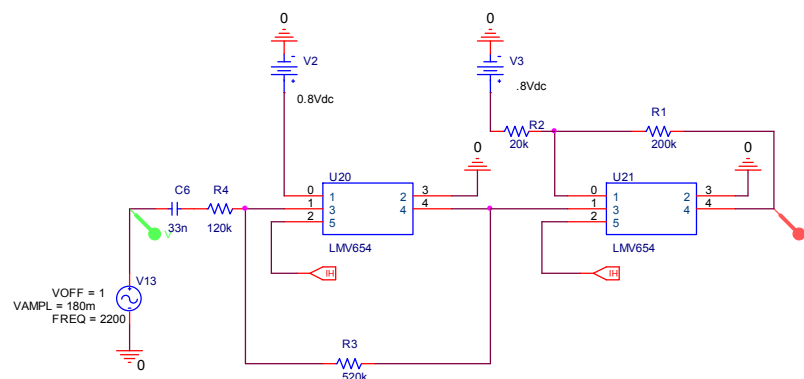
En caso de que la señal de entrada supere la referencia la salida se saturara hacia el nivel de alimentación positiva, y en caso contrario, cuando la señal de entrada es menor que la referencia la salida se irá a nivel de alimentación negativa, o tierra en este caso.

Así pues, se usa como elemento de disparo del comparador una señal derivada de la obtenida del transmisor de presión, logrando que la señal senoidal se convierta en una onda cuadrada. Para asegurar el correcto funcionamiento del diseño se tomaron las siguientes consideraciones:

- Calcular de manera precisa las fuentes de referencia necesarias en el circuito.
- Fortalecer la señal obtenida de la línea HART para evitar falsos disparos, y como consecuencia alteración de la información.

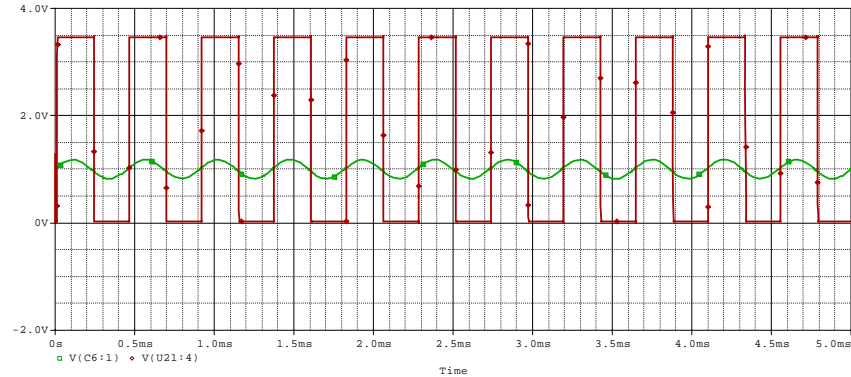
A continuación se presenta el diseño final.

Figura 22 Conformador de ondas Cuadradas



Fuente: Autores

Figura 23 Respuesta en el tiempo circuito Conformador de ondas cuadradas



Fuente: Autores

Al igual que en la etapa de acondicionamiento de señal de onda cuadrada a senoidal, se uso como herramienta principal el Amplificador Operacional LMV 654.

4.3.3.3 Interfaz Hart.

Debido a que la comunicación HART es *half duplex* y el módem HT2012 provee líneas independientes para la modulación y demodulación, se hace necesario que se realice una selección de la señal que se entrega al modem. Para tal fin se hace uso de switches bilaterales para transmisión o multiplexación de señales análogas o digitales CD4016 del fabricante Texas Instruments.

Es necesario además realizar un acoplo capacitivo para no cargar la línea Hart con señales de continua superpuestas a la señal modulada FSK, y de la misma forma evitar que la señal análoga, de corriente directa que entrega el dispositivo de campo cause un mal funcionamiento del hardware desarrollado.

4.4 SOFTWARE

4.4.1 Microcontrolador

El microcontrolador M68HC908QY4A cumple varias funciones importantes: conformar los comandos HART de acuerdo a la información suministrada por el teléfono móvil, realizar el control de flujo de datos entre el teléfono móvil y el Transmisor de presión, proporcionar señales de control para el módem HT2012 y interfaz media.

El programa para el microcontrolador se ha realizado en la plataforma proporcionada por CodeWarrior en su versión CW08 V3.0, y su estructura principal está en lenguaje C con subrutinas en Assembler.

4.4.1.1 Conformación de comandos HART

Los comandos HART tienen estructuras bien definidas como se explico con anterioridad, su conformación en el microcontrolador se genera como respuesta a información enviada por el teléfono móvil de acuerdo a la opción seleccionada por el usuario, el proyecto plantea el manejo de los comandos HART 0,15 y 35. El comando HART 0 es el único de los tres comandos disponibles del que se puede obtener una respuesta satisfactoria del transmisor de presión sin importar la revisión HART del dispositivo, ya que la respuesta a este comando incluye el número de identificación única necesario para el envío de los demás comandos HART.

4.4.1.2 Control de flujo de datos

El microcontrolador debe recibir datos provenientes del teléfono móvil, procesarlos, enviarlos al transmisor de presión, recibir la respuesta del

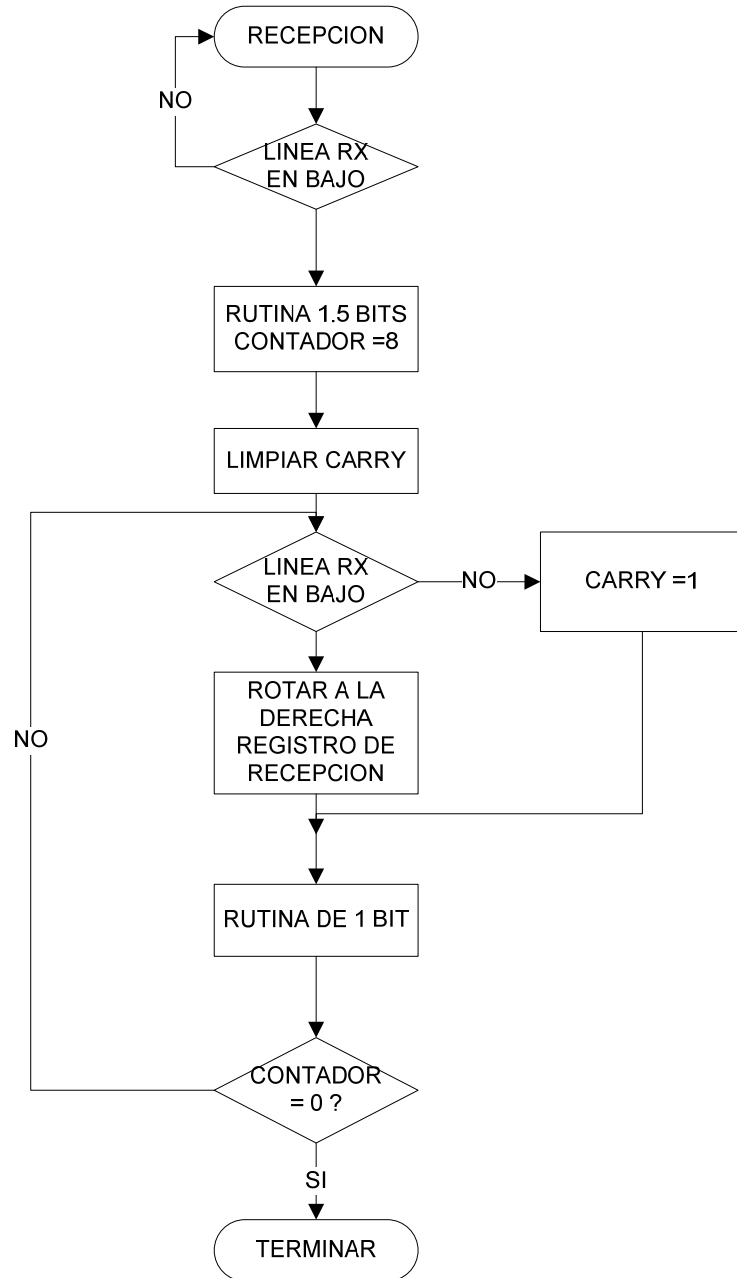
transmisor, procesarla, y finalmente enviarla al teléfono móvil para su visualización.

Para cumplir estas tareas se deben tener en cuenta algunos aspectos: todos los datos son transmitidos y recepcionados de forma serial, el protocolo de comunicación industrial HART maneja una rata de de 1200 bits por segundo mientras que el teléfono móvil maneja una rata de 9600 bits por segundo, los datos proporcionados por el Transmisor de presión pueden tener formatos diferentes (IEEE 754, ASCII, Binario), el protocolo HART maneja bit de paridad el teléfono móvil no.

Debido a que el M68HC908QY4A no posee módulo de comunicación serial, se han implementado rutinas en código Assembler para ser ejecutadas por el microcontrolador. Estas rutinas proporcionan ventajas pues se tiene control absoluto sobre las posiciones de memoria en las que son almacenados o leídos los datos, así como su velocidad de transmisión, velocidad y momento de recepción.

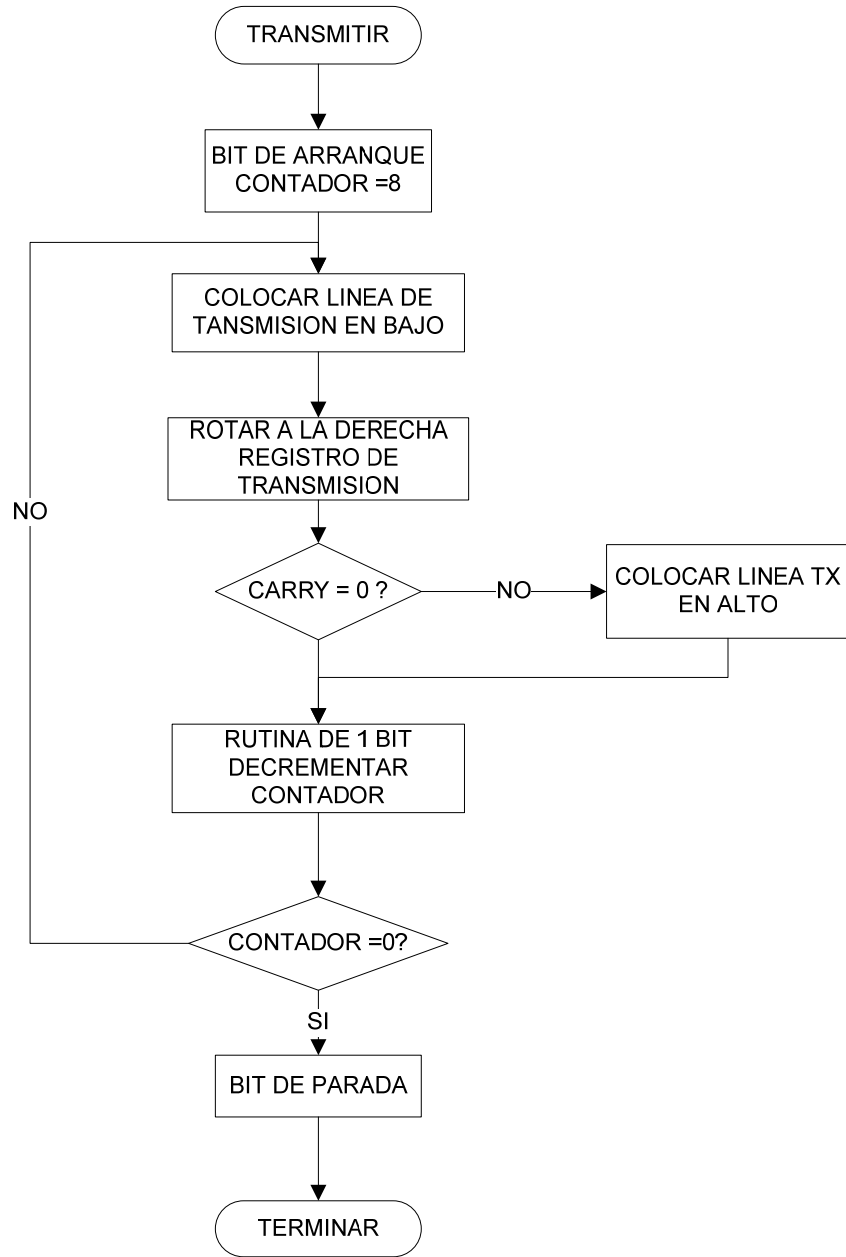
Debido a que se conoce el significado de cada byte obtenido como respuesta del Transmisor de presión ante un comando HART específico, se puede determinar fácilmente que bytes necesitan un cambio de formato para ser correctamente interpretados en el teléfono móvil. Particularmente para los comandos HART propuestos en el proyecto se hace necesaria la conversión de números de formato IEEE 754 a flotantes, y la decodificación de algunos bytes de acuerdo a tablas específicas. El cambio de formato de números en IEEE754 se ejecuta mediante una rutina en código C.

Figura 24 Diagrama de flujo rutina de recepción Microcontrolador



Fuente: Autores

Figura 25 Diagrama de flujo rutina de transmisión Microcontrolador



Fuente: Autores

4.4.1.3 Revisión general del programa para el M68HC908QY4A

El programa se inicia realizando la inclusión de las librerías necesarias para la correcta ejecución del código, posteriormente ocurre la asignación de los pines que serán usados, definiendo si estos pines serán usados como entrada o salida y la función que realizarán.

Asignación de pines

- PTB0 Salida - Transmisión de datos hacia el Transmisor – TXB
- PTB1 Entrada - Recepción de datos provenientes del transmisor - RXB.
- PTB2 Salida - Habilitador para la modulación o demodulación del módem HT2012 - EMH.
- PTB3 Salida - Señal de control de paso de señal – SW.
- PTB4 Salida - Señal de control de paso de señal – SW2.
- PTB6 Entrada - Recepción de datos provenientes del Teléfono móvil - RXB.
- PTB7 Salida - Envío de datos hacia el Teléfono móvil - TXB.
- PTA0 Entrada - Control de funcionamiento del microcontrolador - CONEX.

Definición de variables

- DATOB – byte para manejo de datos de transmisión.
- CONT – byte para contar la cantidad de bits recibidos o transmitidos.
- RECEB – byte para manejo de datos de recepción.
- DATRECMH – arreglo de bytes para almacenar datos recibidos del transmisor.
- COMAB – byte para almacenar comando enviado por el teléfono móvil.
- DATB – byte para almacenar datos enviados por el teléfono móvil.

La primera subrutina que se ejecuta responde al nombre de INI, se encuentra implementada en Assembler y su función es la de: configurar el registro de control de status del oscilador, modificar el registro de configuración principal para deshabilitar el *Watch-dog*, dar set el puerto B, limpiar el registro de cuenta de bits.

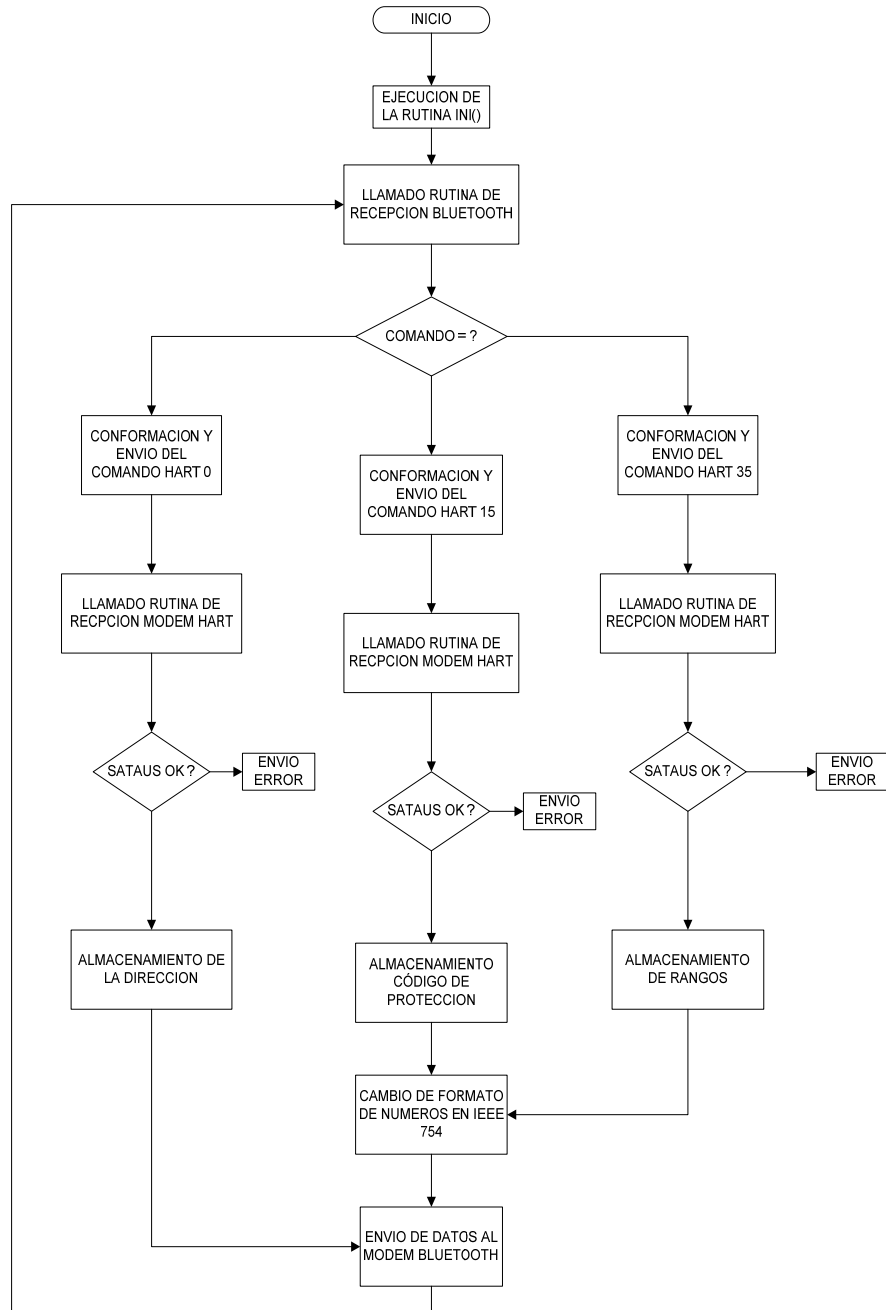
Posteriormente se toman los datos provenientes del teléfono móvil mediante la rutina en Assembler llamada RECIBIR2, se almacenan temporalmente en COMAB y DATB. SE realiza la comparación de COMAB para saber que comando HART desea el usuario implementar, para este proyecto se presentan las siguientes situaciones:

- En caso de que el comando HART a ejecutar sea el 0, se habilita la modulación del módem HT2012 y simultáneamente se envía el comando byte por byte con su respectiva paridad por medio de la subrutina en Assembler llamada ENVIAR; luego se procede a deshabilitar la modulación y a activar la demodulación del módem HT2012 al tiempo que se espera la respuesta del transmisor mediante la subrutina RECIBIR. Los primeros datos recibidos del transmisor no son almacenados debido a que hacen parte del los bytes de preámbulo, inicio, comando, status, contador de bytes de datos; los datos que contienen la información que desea conocer el usuario son almacenados en el arreglo de bytes DATRECMH y transmitidos al teléfono móvil mediante la rutina en Assembler ENVIAR2.
- En caso de que el comando HART a ejecutar sea el 15, se habilita la modulación del módem HT2012, se asigna en este caso a la dirección la identificación única obtenida por medio del comando 0 y simultáneamente se envía el comando byte por byte con su respectiva paridad por medio de la subrutina en Assembler llamada ENVIAR; luego se procede a deshabilitar la modulación y a activar la demodulación del módem HT2012 al tiempo que se espera la respuesta del transmisor

mediante la subrutina RECIBIR. Los primeros datos recibidos del transmisor no son almacenados debido a que hacen parte de los bytes de preámbulo, inicio, comando, status, contador de bytes de datos; los datos que contienen la información que desea conocer el usuario son almacenados en el arreglo de bytes DATRECMH, los bytes de datos del 3 al 14 son cambiados de formato IEEE754 y posteriormente todos los datos transmitidos al teléfono móvil mediante la rutina en Assembler ENVIAR2.

- En caso de que el comando HART a ejecutar sea el 35, se habilita la modulación del módem HT2012, se asigna en este caso a la dirección la identificación única obtenida por medio del comando 0, se usa el código de protección contra escritura obtenido por medio del comando 15 y simultáneamente se envía el comando byte por byte con su respectiva paridad por medio de la subrutina en Assembler llamada ENVIAR; luego se procede a deshabilitar la modulación y a activar la demodulación del módem HT2012 al tiempo que se espera la respuesta del transmisor mediante la subrutina RECIBIR. Los primeros datos recibidos del transmisor no son almacenados debido a que hacen parte de los bytes de preámbulo, inicio, comando, status, contador de bytes de datos; los datos que contienen la información que desea conocer el usuario son almacenados en el arreglo de bytes DATRECMH, los bytes de datos del 1 al 8 son cambiados de formato IEEE754 y posteriormente todos los datos transmitidos al teléfono móvil mediante la rutina en Assembler ENVIAR2.

Figura 26 Diagrama de flujo programa Microcontrolador



Fuente: Autores

4.4.2 Programa del Teléfono móvil

Para el desarrollo del programa se han tenido en cuenta varios aspectos que es importante resaltar:

- El programa sea ejecutable en la mayor cantidad posible de teléfonos móviles.
- Posea una interfaz sencilla, agradable y fácil de usar.
- Provea la capacidad de intercambiar datos con otro dispositivo mediante una conexión bluetooth.

El programa se encuentra diseñado para ser ejecutado por un dispositivo móvil que posea: soporte Java, conexión Bluetooth, y resolución en pantalla de 128 x 160 píxeles o superior.

Estructura

El programa se encuentra estructurado por medio de estados. Los estados indican los posibles escenarios que puede tomar el programa ante una acción ejecutada por el usuario. A su vez cada estado posee unos modos de estado, estos modos de estado son el mecanismo que define la pantalla que visualizara el usuario en cada estado.

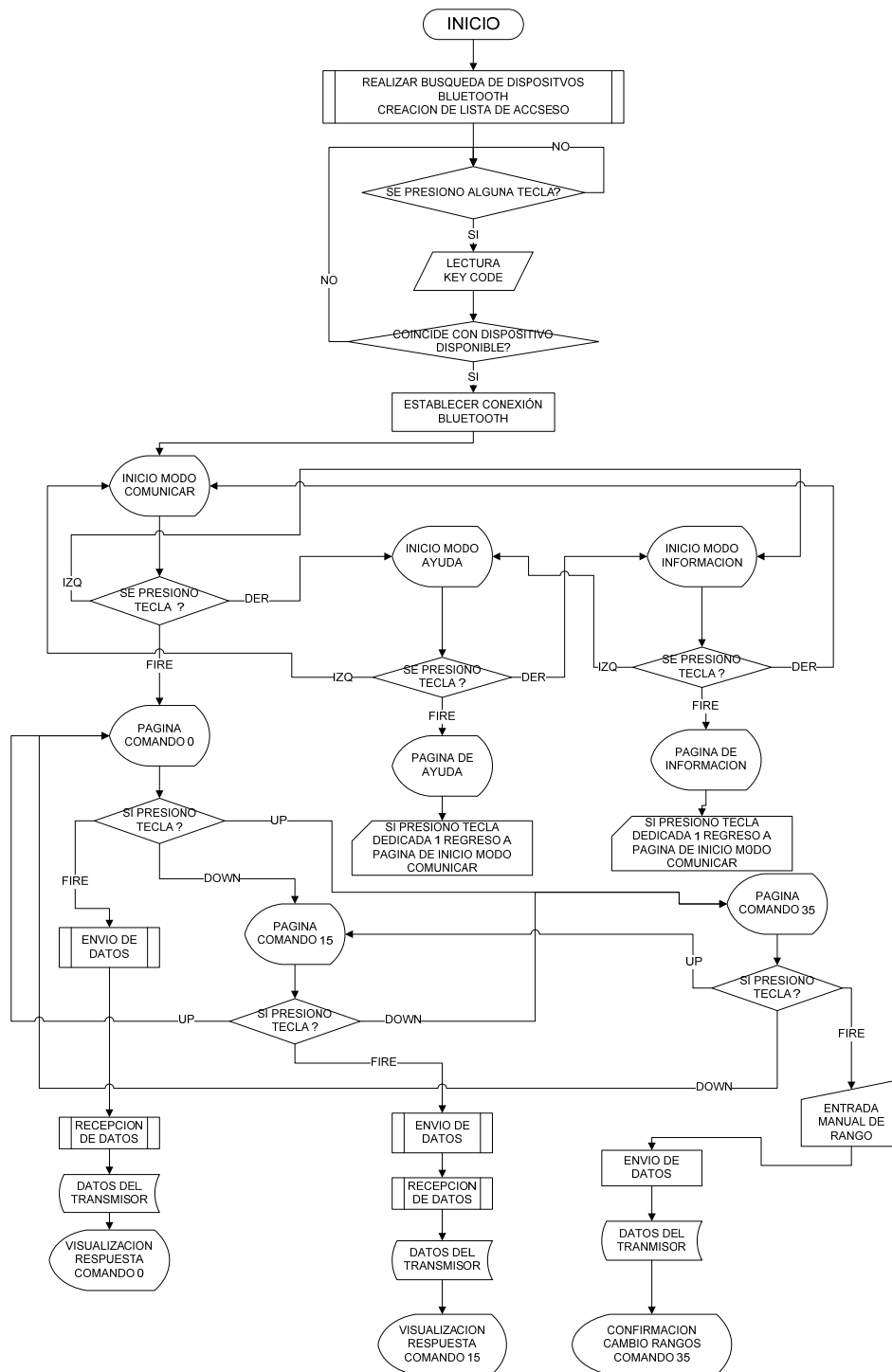
En la figura 27 Se presenta el diagrama de flujo básico que se ha seguido para la construcción del programa.

El Midlet posee funciones básicas que permiten la ejecución del programa, las funciones presentes en el programa serán descritas a continuación:

Void setup

Es una función que se ejecuta una sola vez, su tarea es la de llevar al teléfono a modo de pantalla completa, crear un controlador, nombrar y configurar la conexión bluetooth como puerto serial virtual, además de cargar las imágenes y fuentes que serán usadas a lo largo de la ejecución del programa.

Figura 27 Diagrama de flujo programa Processing.



Fuente: Autores.

Void destroy

Es la función encargada de detener la conexión bluetooth.

Void draw

Esta función es la encargada de realizar el manejo de pantalla, su ejecución es constante, y la rapidez con que se hace es consecuencia del *framerate* que sea definido. Particularmente para el proyecto la acción que ejecuta Void draw es la de llamar a una sub - función llamada Void drawMenu, que es la función que se encarga del manejo de pantallas dependiendo del estado y del modo de estado en que se encuentre el programa.

Void libraryEvent

El manejo de la conexión y el estado que tiene la conexión bluetooth se maneja por medio de esta función. Esta función es la que realiza la búsqueda de los dispositivos con conexión bluetooth disponible, crea la lista de dispositivos, y en caso de conexión exitosa habilita la ejecución del resto del programa.

Void Keypressed

Es una de las dos funciones que permite al programador determinar si alguna tecla ha sido oprimida por el usuario, y cual ha sido. Void Keypressed se ha usado cuando el programa no tiene aun una conexión bluetooth establecida, la finalidad es capturar el valor de tecla que corresponda a la lista de dispositivos con conexión bluetooth disponible, este valor de tecla representa el deseo del usuario de establecer conexión con un dispositivo en particular.

Void KeyReleased

Es la segunda función que permite determinar si se ha pulsado alguna tecla.

En Void KeyReleased se toman en cuenta todos los estados sub – siguientes generados luego de establecer una conexión bluetooth. El reconocimiento de la pulsación de una tecla en un estado en particular, es lo que permite la transición de estados y/o modos, y a su vez determina la transición de pantallas que va a apreciar el usuario.

Es Void keyReleased en la función en la que se realiza la escritura de datos a través del puerto serial virtual, que son los permiten determinar el comando HART que el usuario desea implementar.

Void drawMenu

Void drawMenu es la función que realiza todo el manejo grafico de pantallas que tiene el programa. En ella se encuentran contenidos todos los estados y modos de estados que se han sido definidos. Void drawMenu depende totalmente de Void keyReleased para realizar la transición de pantallas. Sin embargo es en esta función en la que se realiza la lectura de los datos que son enviados como respuesta al comando HART previamente introducido.

Void loadImages

Debido a que el programa presenta imágenes prediseñadas, se hace necesario el uso de esta función para realizar la carga previa de los iconos o figuras que aparecerán en el programa. Sin la ejecución de esta función no sería posible que Void drawMenu realizara el manejo de la parte grafica.

En el desarrollo del programa se hizo necesaria la realización de la modificación de la librería Bluetooth disponible en Java. Sin la modificación de la librería Bluetooth era posible establecer conexión bluetooth con otros teléfonos móviles, incluso el envío y recepción de datos era exitoso, sin embargo, no era posible realizar la conexión con módulos de transmisión bluetooth con perfil SPP, escasamente se lograba el acoplo de los dispositivos.

La modificación de la librería Bluetooth, permitió que durante la ejecución del programa se enviaran o recibieran datos de forma serial.

Los datos enviados por el teléfono móvil, presentan el formato 8N1, lo que implica el envío de 1 bit de inicio, 8 bits de datos, no bit de paridad, y un bit de parada.

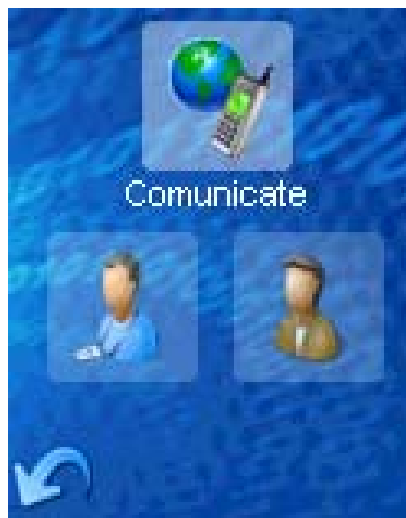
Ejecución del programa

Inicialmente el programa inicia realizando la búsqueda automática de dispositivos con conexión bluetooth disponible, para posteriormente ofrecer una lista de dispositivos activos con los cuales se podría establecer la conexión.

La navegación por la interfaz del programa se hace a través del teclado. En las pantallas en las que aparecen iconos la navegación se hace por medio del *joystick*, y en otras ocasiones usando las teclas dedicadas.

Luego de establecer conexión el programa salta al estado iniciar y el usuario debe visualizar la siguiente pantalla:

Figura 28 Visualización pantalla Celular

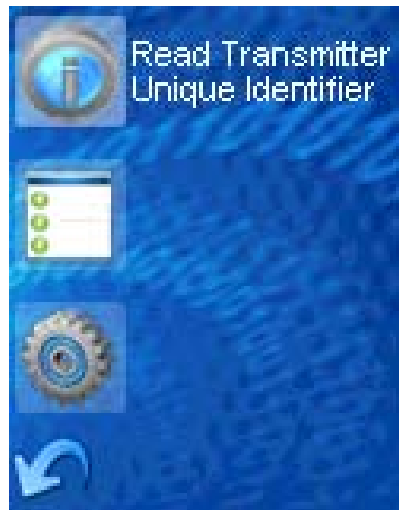


Fuente: Autores

El estado iniciar ofrece al usuario la opción de iniciar la comunicación, informarse acerca del programa, o ver una página de ayuda.

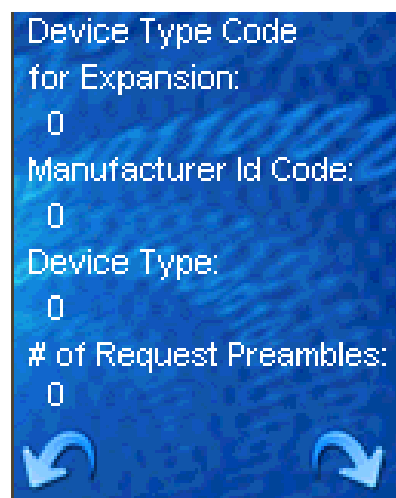
De las gráficas 29 a 32, se ilustran las distintas pantallas que se pueden suceder a lo largo de la ejecución del programa; como las opciones de comando 0, 15 y 35 respectivamente.

Figura 29 Menú de comandos



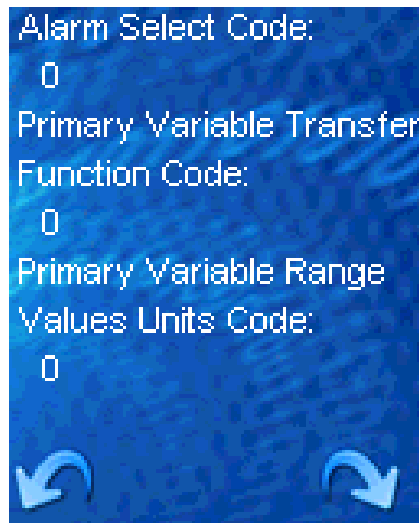
Fuente: Autores.

Figura 30 Página 1 Comando 0



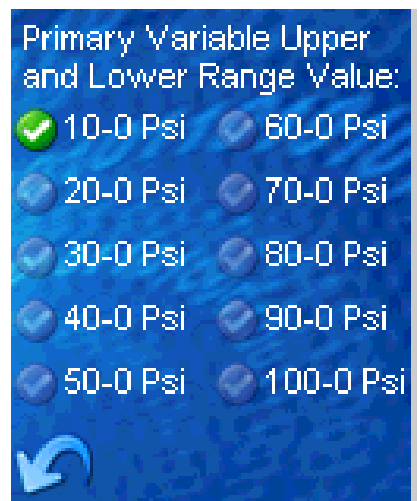
Fuente: Autores.

Figura 31 Página 1 Comando 15



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 32 Opciones de selección Rangos Comando 15.



Fuente: Autores del proyecto.

4.5 Circuito de reloj Modem HT2012

Se hará una descripción de todos los circuitos necesarios para el correcto funcionamiento del proyecto. El módem HT2012 requiere para su

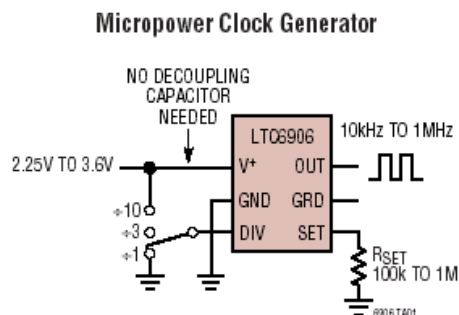
funcionamiento una señal de reloj externa de 460.8 kHz, además de una etapa de filtrado, y una etapa conformadora de ondas cuadradas.

4.5.1 Generación de reloj

Como se ha mencionado anteriormente el módem HT2012 requiere en su funcionamiento una señal de reloj externa de 460.8 kHz para generar las señales internas necesarias en la modulación FSK. Esta frecuencia es relativamente baja, lo que proporciona ventajas en el consumo de potencia, sin embargo no es posible la obtención de la señal de reloj por medio de cristales.

Se ha propuesto como solución en este proyecto la utilización del circuito integrado LTC 6906 del fabricante Linear Technology. El LTC 6906 es un oscilador programable de precisión, versátil, compacto y de fácil implementación. Su bajo consumo de potencia beneficia su equipamiento en dispositivos portátiles alimentados por medio de baterías. A una frecuencia de 100 kHz presenta un consumo de 12uA con una alimentación de 3.3v. Una sola resistencia puede programar el oscilador en un rango de frecuencias de 10:1. la salida de frecuencia puede ser dividida por 1, 3 o 10, aumentando el rango de frecuencias, 10 kHz a 1MHz. No es necesario capacitor de desacoplo y su empaquetado hace que su tamaño no supere los 20 mm². [14]

Figura 33 Circuito típico LT6906



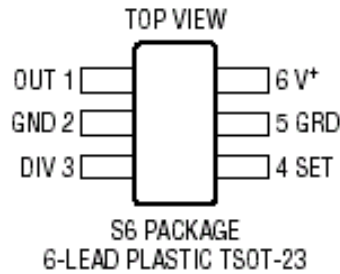
Fuente: Datasheet LT6906

Características eléctricas LTC 6906

El LTC 6906 puede ser alimentado con una tensión sencilla de 2.25v a 3.6v, la resistencia de programación de la frecuencia debe estar en el rango de 100 a 1000 k Ω , la variación de la frecuencia programada no supera el 0.5% en el peor de los escenarios, y su consumo de corriente para frecuencias inferiores a 1MHz es típicamente 12uA y su valor mas alto no excede los 18uA.

La distribución de pines en el LTC 6906 es mostrada en la figura 34, su empaquetado es TSOT- 23 de 6 pines.

Figura 34 Descripción de pines LT6906



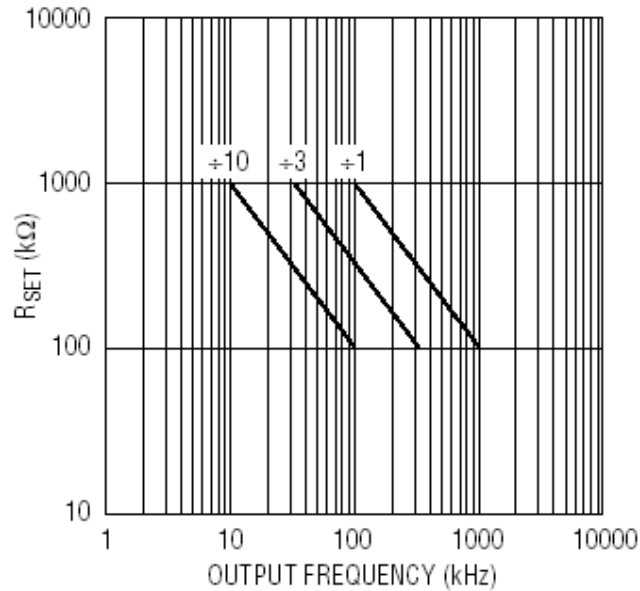
Fuente: Datasheet LT6906

Para el cálculo de la resistencia de programación de la frecuencia, se han usado las ecuaciones y curvas proporcionadas por la hoja de datos del fabricante.

$$f_{OUT} = \frac{1\text{MHz}}{N} \cdot \left(\frac{100\text{k}}{R_{SET}} \right) \quad N = \begin{cases} 10, & \text{DIV Pin} = V^+ \\ 3, & \text{DIV Pin} = \text{Open} \\ 1, & \text{DIV Pin} = \text{GND} \end{cases}$$

Como resultado final se ha determinado que la resistencia de programación debe tener un valor de de 220k Ω , y que el divisor debe estar ajustado en 1.

Figura 35 Grafica Rset vs Frecuencia de salida



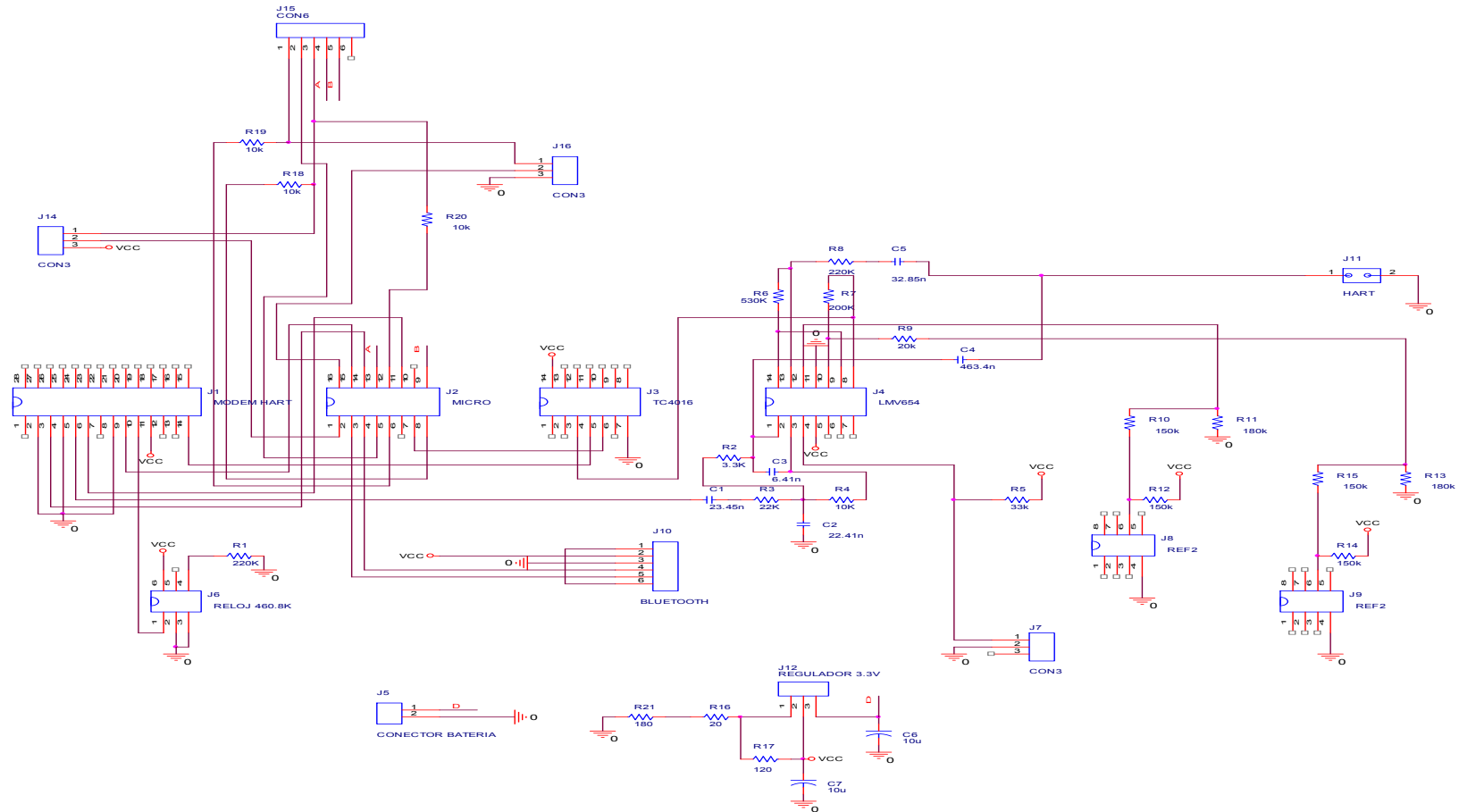
Fuente: Datasheet LT6906

4.6 DISEÑO FINAL

Luego de la realización de todo el estudio expuesto en capítulos anteriores, se ha concretado un diseño que integra cada una de las etapas que componen el proyecto.

En la figura 36 se presenta el circuito esquemático elaborado en Spice, donde se puede apreciar los componentes antes descritos y algunos adicionales que no se mencionaron, estos componentes se encargan de la regulación y polarización del circuito.

Figura 36 Esquemático del diseño final



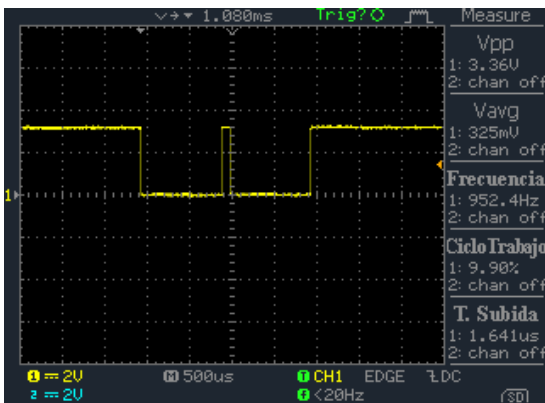
Fuente: Autores

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

A continuación se proporcionan una serie de Figuras que muestran diversos tipos de señales obtenidos a lo largo de la ejecución del sistema.

En la siguiente figura se presenta la forma de la señal serial que se obtiene en la salida del modulo Bluetooth, en caso que el usuario envié el comando 0.

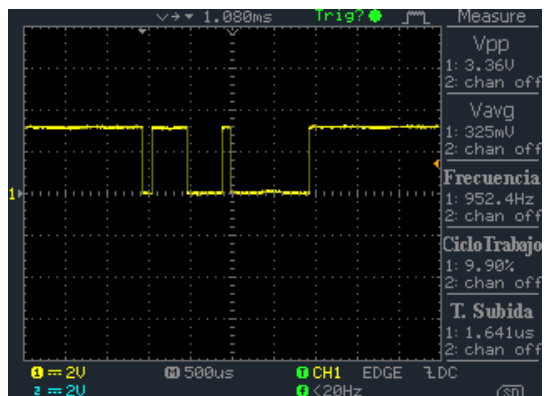
Figura 37 Señal serial envió comando 0 usuario



Fuente: Autores

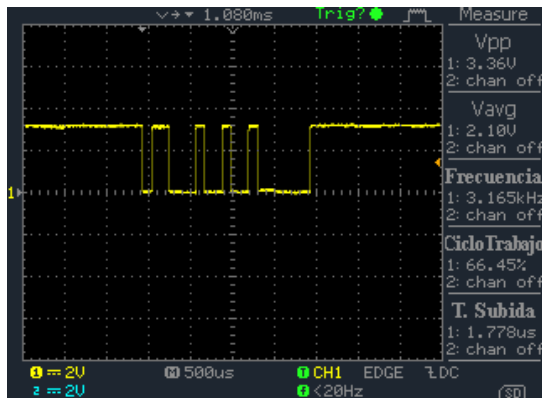
En las figuras 37 y 38 se presenta la forma de la señal en caso de envío del comando 15 y 35 por parte del usuario.

Figura 38 Señal serial envió comando 15 usuario



Fuente: Autores

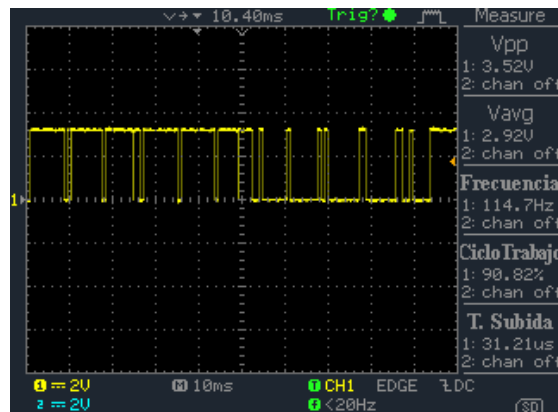
Figura 39 Señal serial envió comando 35 usuario



Fuente: Autores

La figura 40 pertenece al comando 0 conformado por el microcontrolador, en caso de envió de este comando por parte del usuario

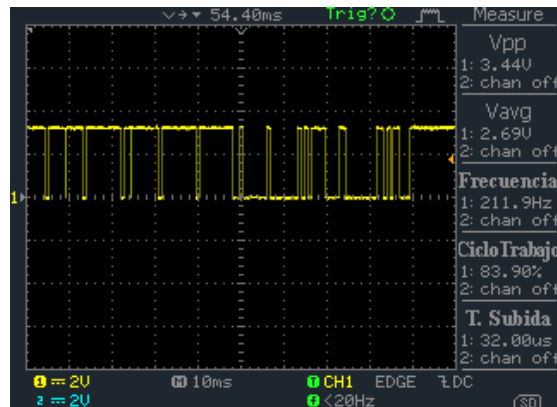
Figura 40 Comando Hart 0 conformado por el microcontrolador



Fuente: Autores

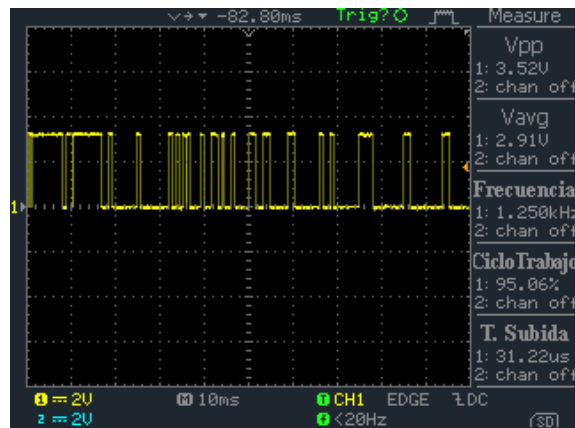
Al igual que en la anterior figura en las siguientes dos figuras se presenta la conformación de comandos por parte del microcontrolador. En este caso el comando 15 y el 35.

Figura 41 Parte del comando Hart 15



Fuente: Autores

Figura 42 Parte del comando Hart 35

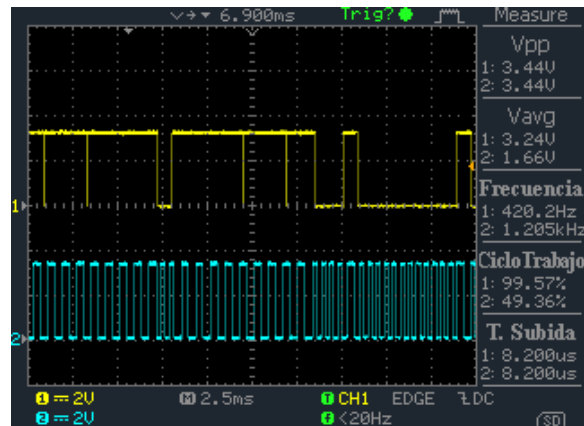


Fuente: Autores

La figura 40, 41 y 42 esquematizan la correcta trama de bits que conforman los comandos 0, 15 y 35 respectivamente. Dichos comandos son los responsables que la respuesta del transmisor de presión sea exitosa.

En la figura 43 se visualiza de forma simultánea dos señales: en amarillo parte de un mensaje Hart (canal 1) y en Azul la señal modulada en CPFSK que proporciona el modem HT2012 (canal 2).

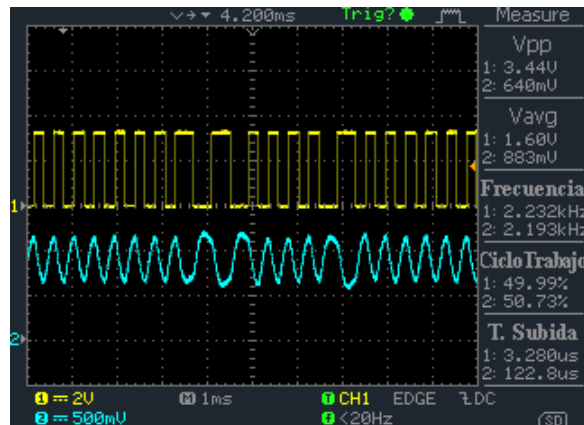
Figura 43 Mensaje HART y señal modulada CPFSK



Fuente: Autores

La figura 44 presenta la señal modula CPFSK en color amarillo (canal 1) y la señal en azul es la respuesta obtenida para la señal CPFSK por el filtro pasa banda (canal 2).

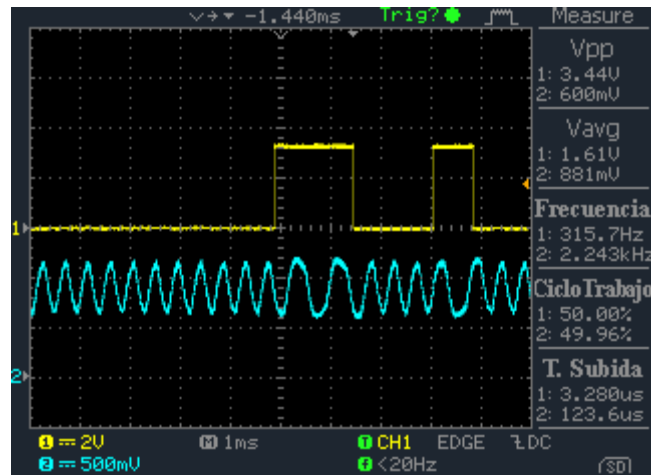
Figura 44 Respuesta del filtro pasa banda



Fuente: Autores

Una comparación de la señal original (comando Hart), y la señal posteriormente modulada en CPFSK y filtrada se muestra en la figura 45.

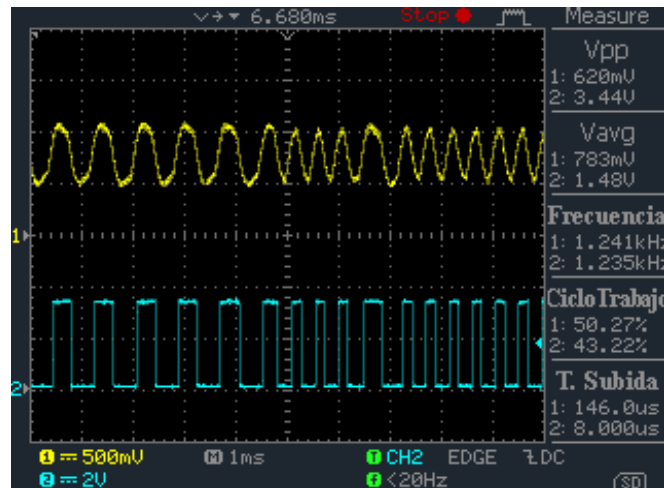
Figura 45 comando Hart vs señal modulada en CPFSK y filtrada.



Fuente: Autores

El resultado de la fase del trabajo de grado encargada de conformar las ondas cuadradas se presenta en la siguiente figura.

Figura 46 Respuesta del circuito conformador de onda cuadrada

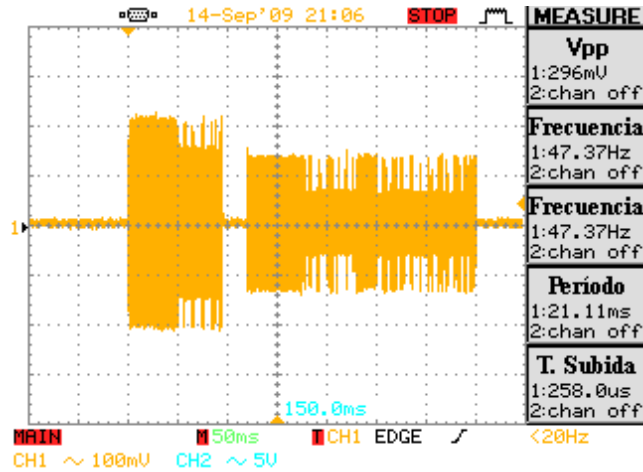


Fuente: Autores

A partir de las anteriores gráficas se verifica que el funcionamiento de la capa física de HART, se encuentra cumpliendo con los requerimientos planteados desde el principio.

En la figura 47 se pueden apreciar las señales en modulación FSK tanto de la petición como de la respuesta enviada por el transmisor de presión.

Figura 47 Señales de petición y respuesta en la línea Hart.

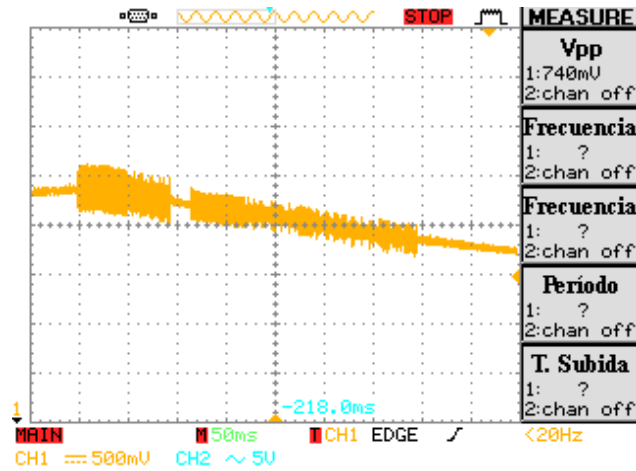


Fuente: Autores

Es posible observar en la figura 47, las especificaciones de los niveles de tensión enviados por el maestro (primera forma de onda) en la petición, y los niveles de tensión de la señal proporcionada como respuesta por el esclavo (segunda forma de onda).

En la figura 48 se presentan las señales en modulación FSK tanto de la petición como de la respuesta enviada por el transmisor de presión, sobre el lazo analógico de 4-20mA. Se pretende con esta figura hacer referencia a las formas de onda presentes en el lazo de conexión Hart en el momento de realizar una transacción con variación en la presión del proceso.

Figura 48 Transacción Hart durante variaciones de presión.



Fuente: Autores

Vale la pena resaltar que ciertos requerimientos están ligados a las condiciones presentes en el Hardware. Dentro del diseño de Hardware realizado se emplea el oscilador interno del microcontrolador M68HC908QY4A, el cual hace que la frecuencia de oscilación del circuito sea una característica crítica, debido a pequeñas variaciones que se pueden presentar entre este tipo de dispositivos, ya sean provenientes de factores de fabricación o también de acoplamiento con el circuito.

Una vez realizada la programación se debe verificar la duración de los pulsos de la onda demodulada la cual se debe ajustar a los requisitos propios de la capa física de HART, pues se nota que al emplear diferentes microcontroladores existen una variación en la frecuencia de la señal, la cual se puede convertir en una dificultad en el momento de requerir una respuesta proveniente del elemento esclavo o transmisor de presión.

Para la implementación de la función de programación de los rangos de medida del transmisor de presión, se debe verificar inicialmente que el dispositivo de campo tenga abierta la opción de lectura y escritura, pues de lo contrario el sistema no logrará realizar la tarea de modificar dichos rangos de medida. Para

esto la clave está en verificar la posición del jumper ubicado dentro del transmisor de presión, el cual deberá estar en la posición de habilitación lectura y escritura. A través de la ejecución del comando número 15 se podrá verificar si esta opción se encuentra habilitada o deshabilitada.

El modo de protección contra escritura generará un 1 en la lectura visualizada en el teléfono móvil, si la es dispositivo se encuentra con dicha protección, de lo contrario se recibirá un 0 en la lectura en el teléfono móvil si la opción se encuentra deshabilitada. Si la respuesta es 1 se procederá a verificar la ubicación del jumper de protección mencionado anteriormente.

CONCLUSIONES

- Es posible con el sistema desarrollado la comunicación y programación de transmisores inteligentes de presión, verificando que los comandos universales y de práctica común pueden ser manejados sin ninguna restricción del fabricante.
- Se obtiene comprensión total de la estructura del protocolo HART, logrando integrar un sistema que cumple con las características propias de la capa física requerida por HART.
- Se logra la inclusión de un teléfono móvil como herramienta de trabajo en aplicaciones industriales.
- La tecnología Bluetooth le provee al usuario movilidad, permitiendo el uso del dispositivo, fuera del área de peligro.
- El estudio realizado inicialmente con UML, permite la contextualización del sistema, definición de requisitos y validación del producto.
- La herramienta desarrollada fortalece el campo de estudio iniciado del protocolo Hart en la E3T y se constituye como un elemento para el desarrollo de competencias de los estudiantes de ingeniería electrónica.
- El uso de dispositivos electrónicos de tipo superficial, hace que el diseño se ajuste dentro de un pcb de bajas dimensiones, con lo cual se logra obtener un sistema portable y de fácil transporte.
- El conocimiento de las partes del transmisor de presión, hace posible la habilitación de la opción necesaria para ejecutar el comando HART 35.

RECOMENDACIONES

- Se propone el complemento del sistema ajustando la opción de conexión de red HART en modo multipunto, con lo cual se estará llevando a cabo el montaje simultáneo de los transmisores inteligentes de presión HART presentes en el laboratorio de instrumentación electrónica.
- Implementar un número mayor de comandos HART al sistema para obtener un grado mayor de robustez.
- Desarrollar una potencialización de la conectividad Bluetooth propia del teléfono celular, con lo cual el sistema mejore su alcance en transmisión y recepción de datos.
- Ampliación de las librerías soportadas por el dispositivo, para implementar las características proporcionadas por los comandos específicos presentes en cada uno de los modelos que funcionan regidos bajo el protocolo de comunicación industrial HART.
- Integrar al máximo la etapa de Hardware haciendo uso de nuevas tecnologías.
- Posible implementación en un nuevo dispositivo móvil haciendo uso de la tecnología Bluetooth.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] Hart Communication Foundation. "Protocol Hart". Disponible en internet: <http://www.hartcomm.org/> , consultado 9 de febrero de 2009.
- [2] Hart Communication Foundation. "The Hartbook". Disponible en internet: www.thehartbook.com/technical , consultado 9 de febrero de 2009.
- [3] Communication Foundation. "HART Application Guide". Disponible en internet: <http://www.hartcomm.org/> , consultado 9 de febrero de 2009.
- [4] E. KURT, Tod. Hacking Roomba. Book "Hacking Roomba". Disponible en internet: <http://hackingroomba.com>, consultado 15 de febrero de 2009
- [5] Li, Francis. Mobile Processing, "Exhibition". Disponible en internet: <http://mobileprocessing.org>, consultado 23 de febrero de 2009
- [6] J. MORENO, Marlon. "Introducción a Mobile Processing. Version 0.1". Disponible en internet: <http://marlonj.darkgreenmedia.com/>, consultado 23 de febrero de 2009
- [7] FOWLWE, Martin, SCOTT, Kendall, "UML Gota a Gota", 1999 Disponible en internet: http://es.wikipedia.org/wiki/Lenguaje_Unificado_de_Modelado, consultado 27 de enero de 2009
- [8] Wikipedia. "Descripción diagramas de paquetes". Disponible en internet: http://www.sparxsystems.com.ar/resources/tutorial/uml2_packagediagram.html, consultado 27 de enero de 2009
- [9] SPARKFUN. Datasheet "BlueSMIRF RPSMA". Disponible en internet: <http://Saparkfun.com>, consultado 12 abril de 2009.

- [10] NETWORKS, Roving. Datasheet "RN41". Disponible en internet: <http://www.rovingnetworks.com>, consultado 12 abril de 2009.
- [11] FREESCALE, Datasheet "M68HC908QY4A". Disponible en internet: <http://www.freescale.com>, consultado 30 enero de 2009.
- [12] SMAR. Datasheet "Modem Hart HT2012". Disponible en internet: <http://www.smar.de/>, consultado 29 enero de 2009.
- [13] INSTRUMENTS, National. Datasheet "LMV654". Disponible en internet: <http://www.national.com>, consultado 29 enero de 2009
- [14] TECHNOLOGY, Linear. Datasheet "LT6906". Disponible en internet: <http://www.linear.com>, consultado 29 enero de 2009.
- [15] CANOVA, W., GIRALDO, A. F, "Diseño e implementación de un programador de transmisores de presión Honeywell basado en el protocolo Hart.", Trabajo Pregrado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, 2007.
- [16] TECNIPUBLICACIONES, "Tecnomarket: Nuevos Productos para la Automatización Industrial", Revista Numero 46,47,48,49,50,51, Grupo Tecnipublicaciones, Madrid, España, 2007-2008. Disponible en internet: www.tecnipublicaciones.com, consultado 18 de enero de 2009
- [17] URDANETA, E. F. "Protocolo de Comunicación Hart", Proyecto de Pasantía, Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Febrero, 2001.
- [18] J. E. Arévalo Peña, J. C. Prieto Prieto, W. M. Reina Daza, J. S. Paipilla, "Tarjeta Multipropósito Bluetooth, Universidad Manuela Beltrán. 2007..

[19] RAZAVI, Behzad. Basic MOS Device Physics. En su:. Design of Analog CMOS Integrated Circuits. Berkeley, California. 2001. p. 9-46

[20] RAZAVI, Behzad. Feedback. En su:. Design of Analog CMOS Integrated Circuits. Berkeley, California. 2001. p. 246-290

ANEXO A

SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS

Selección del módulo Bluetooth.

Para la selección del módulo Bluetooth se tiene en cuenta parámetros como disposición en el mercado, soporte técnico y ciertas características técnicas que permitan la comunicación ideal entre el teléfono celular y la etapa hardware del proyecto.

Dentro del mercado se encuentran dos referencias disponibles distintas de módulos bluetooth.

- Bluetooth V2.0 DIP Module

Este es un dispositivo de comunicación inalámbrica con tecnología Bluetooth, posee protocolo de comunicación por medio de UART, y es controlado por comandos AT.

Características:

- Configurable UART Data rates
- Hasta 1Mbps
- Modos de bajo poder y sleep.
- Compatible con todos los productos bluetooth que soporten SPP.
- Voltaje de operación 3.3V
- Pin de Status
- Compatible con estándar Bluetooth v1.2
- Precio: \$170000

- BlueSMiRF RPSMA
- Radio Módem Bluetooth clase 1 de alta calidad
- Configurable como UART
- Compatible con todos los productos Bluetooth soportados SSP
- Voltaje de operación de 3.3 a 6V
- Baud rate comunicación serial de hasta 115.200bps,
- Distancia de operación 106 metros.
- Precio: \$215000

Como criterio de selección se tiene en cuenta:

- Bajo consumo de corriente del dispositivo.
- Físicamente el dispositivo debe tener posibilidad de adaptación dentro de diseños de circuitos embebidos.
- El alcance que debe tener el módulo debe ser considerablemente alto.
- Compatibilidad con comandos AT.
- Capacidad de conexión con dispositivos de comunicación móvil (Teléfonos celulares).
- Baud Rate configurable.

Los dos módulos presentados poseen gran número de estas características, pero el BlueSMiRF, tiene cierta ventaja al ser un dispositivo Bluetooth clase 1, lo cual lo hace capaz de soportar comunicaciones a grandes distancias. Para esta función se adquiere una antena dipolo la cual le provee al módulo un alcance de 106 mts en campo abierto. Otra característica muy importante que se busca dentro del diseño del presente trabajo, es la capacidad de portabilidad del dispositivo, lo cual finalmente hace que la selección conduzca hacia el módulo BlueSMiRF del fabricante Sparkfun Electronics.

Selección de modem Hart

Dentro de la gama de dispositivos que soportan las características requeridas por el protocolo Hart se encuentran diversos modelos de circuitos integrados que cumplen con el requerimiento del presente trabajo de investigación.

Para la selección de dicho dispositivo se investigaron distintas características técnicas de dos fabricantes conocidos en el ambiente del protocolo Hart (Smar Research y On Semiconductor). Smar Research por su parte presenta tres diferentes opciones de modem Hart (HT2012, HT2015, HT3012), mientras que On Semiconductor ofrece un solo tipo de modem (A5191HRT).

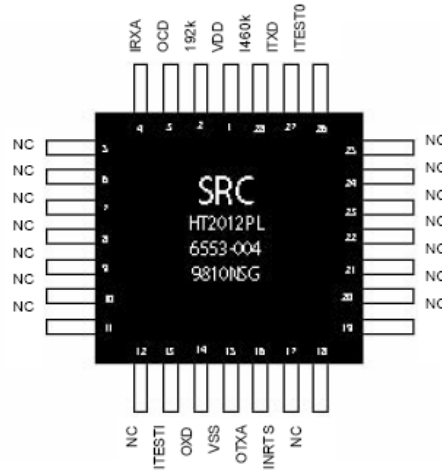
Es evidente que existen ciertas características que aunque son fundamentales para el soporte del protocolo, no resultan críticas en la selección del dispositivo pues se comprende que en su condición de modem Hart deben soportar las distintas propiedades requeridas por Hart. Algunas de estas características son las siguientes:

- Soporte del estándar de comunicaciones Bell 202.
- Tasa de transferencia de datos de 1200 bps.
- Transmisión de datos en las frecuencias de 1200 Hz y 2200 Hz.
- Modulación digital de la señal en FSK.
- Capacidad de transmitir la señal requerida sobre el lazo analógico de 4 – 20 mA.

A continuación se exponen las principales características para la selección del dispositivo:

HT2012 (Smar Research)

FiguraA 1 Modem Hart HT2012



Fuente: Datasheet HT2012

Tabla A 1 Características en DC HT2012

Símbolo	Parámetro	Min.	Max.	Unidad	Condición
VDD	Voltaje de alimentación	3.0	5.5	V	
VIN	Tensión de entrada	VSS - 0.3	VDD +0.3	V	
VIH	Tensión de entrada 1 Lógico	2.0	VDD + 0.3	V	
VIL	Tensión de entrada 0 Lógico	VSS - 0.3	0.8	V	
VOL	Salida de tensión baja		0.4	V	
VOH	Salida de tensión alta	2.4	VDD - 0.3	V	Corriente de salida de fuente (4.0mA)
IDD	Corriente de alimentación durante la demodulación (típico)	40		μA	a 5.0v

Continuación Tabla A1

Símbolo	Parámetro	Min.	Max.	Unidad	Condición
IDD	Corriente de alimentación durante la modulación (típico)	80		μA	a 5.0v
IIN	Corriente de fuga en la entrada		+/- 1	μA	típico
ITO	Salida de corriente de fuga		+/- 10	μA	típico
ICIN	Capacitancia de entrada		10	pF	típico

Fuente: Datasheet HT2012

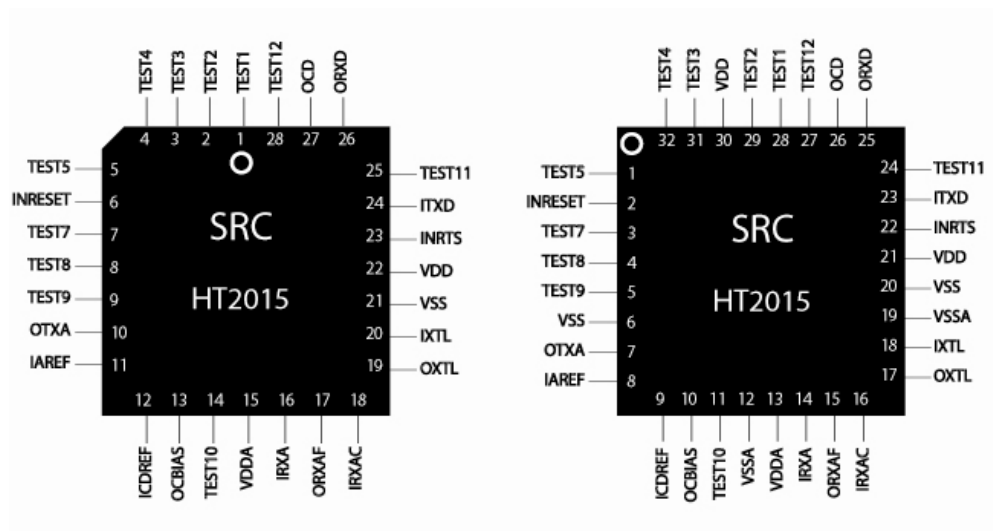
Tabla A 2 Características en AC HT2012

Frecuencia del reloj.	480.8 kHz +/- 0.1%
Ancho del pulso de reloj.	150 ns min. (niveles altos y bajos)
Rizado de reloj y tiempo de caída.	10 ns (max.)
Rizado de la entrada IRXA y tiempo de caída.	200 ns (max.)
Rizado de otras entradas y tiempo de caída.	50 ns (max.)
Rizado a la salida y tiempo de caída.	10 ns (max.)

Fuente: Datasheet HT2012

HT2015 (Smar Research)

FiguraA 2 Modem Hart HT2015



Fuente: Datasheet HT2015

Tabla A 3 Características en DC HT2015

Símbolo	Parámetro	Min.	Típico	Max.	Unidad
VDD	Voltaje de alimentación	2.7	3-5.5	6	V
VIH	Tensión de entrada 1 Lógico	.7 * VDD			V
VIL	Tensión de entrada 0 Lógico			.3*VDD	V
VOL	Salida de tensión baja. Baja (IOH=0.67mA).			.4	V
VOH	Salida de tensión alta. Alta (IOH=0.67mA).	2.4			V
IDD	Corriente de alimentación. Con RBIAS = 500kΩ, IAREF = 1.235V		150 170	180 200	μA
IIN	Corriente de fuga en la entrada			+/-500	nA
IOLL	Corriente de fuga en la salida			+/-10	μA
IAREF	Referencia análoga	1.2	1.235 2.5	2.6	V

Continuación Tabla A3

Símbolo	Parámetro	Min.	Típico	Max.	Unidad
ICDREF	Referencia de detector de portadora (IAREF = .08V)		1.15		V
ICIN	Capacitancia de entrada		2.9		pF
	Entrada análoga		25		
	Entrada digital IRXA		3.5		

Fuente: Datasheet HT2015

Tabla A 4 Características en AC HT2015

(VDD = 3.0V a 5.5V, VSS = 0V, TA = -40C to +85C)					
Pin	Descripción.	Min	Típico	Max	Unidad.
IRXA	Corriente de fuga en la entrada de recepción análoga.			+/-150	nA
	Frecuencia de la señal (1 lógico)	1190	1200	1210	Hz
	Frecuencia de la señal (0 lógico)	2180	2200	2220	Hz
ORXAF	Salida del filtro pasa bajas				
	Slew Rate		.025		V/ μ s
	Ganancia de ancho de banda (GBW)	150			kHz
	Rango de voltaje	.15		VDD - .15	V/ μ s
IRXAC	Corriente de fuga de entrada, detección de portadora y filtro de recepción.			+/-500	nA

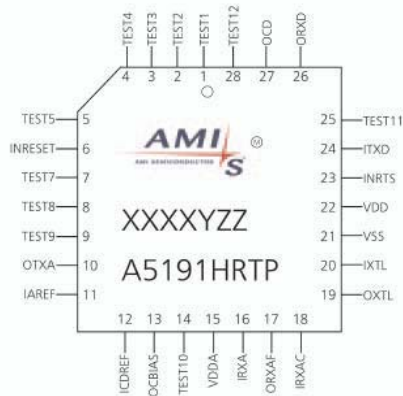
Continuación Tabla A4

Pin	Descripción.	Min	Típico	Max	Unidad.
OTXA	Salida del modulador Frecuencia de señal (1 Lógico) Frecuencia (0 Lógico) Amplitud (IAREF 1.235 V) Slope Loading (IAREF = 1.235 V)	30	1196.9 2194.3 500 2.79		Hz Hz mVp-p mV/μs kΩ
ORXD	Rizado de la salida digital de recepción/ Tiempo de caída	20			ns
OCD	Rizado de la salida de detección de portadora / Tiempo de caída.	20			ns

Fuente: Datasheet HT2015

A5191HRT (On Semiconductor)

FiguraA 3 Modem A5191HRT



Fuente: Datasheet A5191HRT

Tabla A 5 Características en DC A5191HRT

Símbolo	Parámetro	Min.	Típico	Max.	Unidad
VDD	Voltaje de alimentación		3.0 – 5.5		V
VIH	Tensión de entrada 1 Lógico	0.7 * VDD			V
VIL	Tensión de entrada 0 Lógico			0.3 * VDD	V
VOL	Salida de tensión baja. Baja (IOH=0.67mA).			0.4	V
VOH	Salida de tensión alta. Alta (IOH=-0.67mA).	2.4			V
IDD	Corriente de alimentación. (RBIAS = 500kΩ, IAREF = 1.235V)		330	450	μA (a 3.3V)
			300	600	μA (a 5V)
IIL / IH	Corriente de fuga en la entrada			± 500	nA
IOLL	Corriente de fuga en la salida			± 10	μA
IAREF	Referencia análoga	1.2	1.235	2.6	V
ICDREF	Referencia de detector de portadora (IAREF – 0.08V)		1.15		V
ICIN	Capacitancia de entrada		2.9		pF
	Entrada análoga		25		
	Entrada digital IRXA		3.5		

Fuente: Datasheet A5191HRT

Tabla A 6 Costo por referencia

Referencia	Costo por unidad
HT2012	US\$ 5.9
HT2015	US\$ 6.4
HT3012	US\$ 12.75
A5191HRT	No registra

Fuente: Autores.

Después de analizar las distintas características de los dispositivos propuestos se decide seleccionar el modelo HT2012 del fabricante Smar Research. Aunque los otros modelos presentados poseen ciertas características atractivas para el presente diseño, como la introducción de la etapa de filtrado dentro de la circuitería interna, también se visualiza que el consumo de energía del dispositivo se eleva considerablemente en comparación con el modelo HT2012. Luego se decide implementar la etapa de filtrado análogamente considerando ciertas características que ayuden a equilibrar en su totalidad las diferentes condiciones eléctricas que se están buscando dentro del presente diseño. El modelo HT2012, posee un bajo consumo de corriente, buenas características eléctricas para ejecutar las tareas propias que requiere el protocolo Hart.

Selección de Amplificadores Operacionales

Las especificaciones mínimas que deben satisfacer los opamps en la etapa de hardware son:

- Bajo consumo de corriente
- Alto producto ganancia ancho de banda
- Rangos de excursión rail to rail in / out
- Costo y tamaño

Se analizan tres modelos de amplificadores operacionales: el LMV654, OPA363 y LMP7707, para establecer la opción que genere mejores condiciones de operabilidad en el diseño a implementar.

En las tablas 21,22 y 23, se exponen las características eléctricas de los opams anteriormente mencionados.

Tabla A 7 Características eléctricas LMV654

Símbolo	Parámetro	Condiciones	Min	Típ	Max	Unidades
VOS	Tensión de offset de entrada			0,1	±1,5 2,7	mV
IB	Corriente polarización de entrada			80	120	nA
IOS	Corriente de offset de entrada			2,2	15	nA
CMRR	Rechazo de modo común	$0 \leq V_{CM} \leq 2.0 \text{ V}$	87 80	100		dB
PSRR	Rechazo de fuente de alimentación	$3.0 \leq V_+ \leq 5\text{V},$ $V_{CM} = 0.5$	87 81	95		dB
		$2.7 \leq V_+ \leq 5.5\text{V},$ $V_{CM} = 0.5$	87 81	95		
AVOL	Ganancia de tensión a gran señal.	$0.3 \leq V_O \leq 2.7,$ $R_L = 2 \text{ k}\Omega \text{ to } V_+/2$	80	85		dB
		$0.4 \leq V_O \leq 2.6,$ $R_L = 2 \text{ k}\Omega \text{ to } V_+/2$	76			
		$0.3 \leq V_O \leq 2.7,$ $R_L = 2 \text{ k}\Omega \text{ to } V_+/2$ $0.4 \leq V_O \leq 2.6,$ $R_L = 2 \text{ k}\Omega \text{ to } V_+/2$	86 83	93		

Continuación Tabla A7

Símbolo	Parámetro	Condiciones	Min	Típ	Max	Unidades
VO	Variación alta de salida	RL = 2 kΩ to V+/2		80	95 120	mV del riel.
		RL = 10 kΩ to V+/2		45	50 60	
	Variación baja de salida	RL = 2 kΩ to V+/2		95	110 125	
		RL = 10 kΩ to V+/2		60	65 75	
IS	Corriente de alimentación por amplificador.	LMV651		115	140	μA
		LMV652		118	175	
		LMV654		122		
SR	Slew Rate	AV= +1, 10% to 90%		3		V/μs
GBW	Producto de Ganancia de ancho de banda.			12		MHz
en	Ruido de tensión referido a la entrada.	f =100 kHz f =1 kHz		17 17		nV/ √Hz
in	Ruido de corriente referido a la entrada	f =1 kHz f=100 kHz		0,1 0,15		pA/ √Hz
THD	Distorsión total armónica	f = 1 kHz, AV= 2, RL= 2KΩ		0,003		%

Fuente: Datasheet LMV654.

Tabla A 8 Características eléctricas OPA363.

Símbolo	Parámetro	Condiciones	Min	Típ	Max	Unidades
VOS	Tensión de offset de entrada				500	mV
IB	Corriente polarización de entrada			±1	±10	pA
IOS	Corriente de offset de entrada			±1	±10	pA
CMRR	Rechazo de modo común	$(V-) - 0.1V < V_{CM} < (V+) + 0.1V$	74	90		dB
PSRR	Rechazo de fuente de alimentación	$V_S = 1.8V$ to $5.5V$, $V_{CM} = 0$		80	330	mV/V
AVOL	Ganancia de tensión de lazo abierto.	$R_L = 10k\Omega$, $100mV < V_O < (V+) - 100mV$ $V_S = +1.8V$ to $+5.5V$	94 90 86	100		dB
VO	Variación de salida de riel	$R_L = 10k\Omega$		10	20	mV
IS	Corriente de alimentación.	$V_S = +3.6V$		850	1000	μA
SR	Slew Rate	$G = +1$		5		V/μs
GBW	Producto de Ganancia de ancho de banda.			7		MHz
THD + Ruido	Distorsión total armónica + Ruido	$V_S = +5V$, $G = +1$, $f = 20Hz$ to $20 kHz$		0,002		%

Fuente: Datasheet OPA363.

Tabla A 9 Características eléctricas LMP7707.

Símbolo	Parámetro	Condiciones	Min	Típ	Max	Unidades
VOS	Tensión de offset de entrada			±37	±200 ±500	µV
IB	Corriente polarización de entrada			±0.2	±1	pA
IOS	Corriente de offset de entrada			40		fA
CMRR	Rechazo de modo común	$0 \leq V_{CM} \leq 3.0 \text{ V}$	84 78	130		dB
PSRR	Rechazo de fuente de alimentación	$2.7\text{V} \leq V_+ \leq 12\text{V}$, $V_o = V_+/2$	86 78	130		dB
AVOL	Ganancia de tensión a lazo abierto.	$R_L = 2 \text{ k}\Omega$ (LMP7707) $V_O = 0.3\text{V to } 2.7\text{V}$	100 96	114		dB
VO	Variación alta de salida	$R_L = 2 \text{ k}\Omega$ to $V_+/2$		40	80 120	mV de riel
	Variación baja de salida	$R_L = 2 \text{ k}\Omega$ to $V_+/2$		45	60 80	
IS	Corriente de alimentación por amplificador.			0.67	1 1.2	mA
SR	Slew Rate	$V_O = 2$ $V_{PP}, 10\% \text{ to } 90\%$		5.1		V/µs
GBW	Producto de Ganancia de ancho de banda.	$A_V = 10$		13		MHz

Continuación Tabla A9

Símbolo	Parámetro	Condiciones	Min	Típ	Max	Unidades
En	Ruido de tensión referido a la entrada.	f =100 kHz f =1 kHz		17 9		nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
In	Ruido de corriente referido a la entrada	f=100 kHz		1		fA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
THD + Ruido	Distorsión total armónica + Ruido	f = 1 kHz, AV= 10, Vo=2.5V, RL= 2K Ω		0,024		%

Fuente: Datasheet LMP7707.

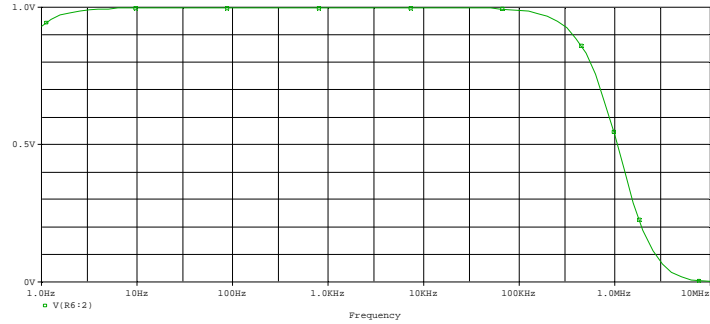
Tabla A 10 Costos por referencia de dispositivos.

Referencia	Fabricante	Empaquetado	Costo por unidad
LMV654	National Semiconductor	Quad 14-MSSOP	US\$ 2.82
OPA363	Texas Instruments	Single 8-SOIC	US\$ 1.63
LMP7707	National Semiconductor	Single SOT-23	US\$ 2.73

La selección del dispositivo surge de analizar las características de AC y DC del amplificador. El opam que presenta mejores condiciones para el diseño es el LMV654 de National Semiconductor y por consiguiente se llegó a su selección. Resulta también atractivo en su costo por unidad, el cual es notablemente económico respecto a los otros modelos, haciendo referencia en su presentación de cuatro amplificadores por cada empaquetado.

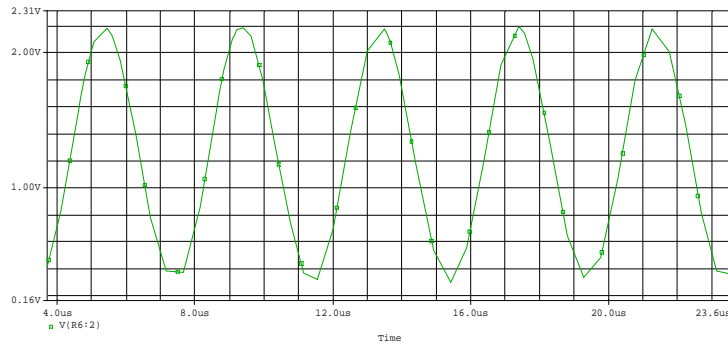
A continuación se presentan los resultados de simulación a partir del modelo en spice del amplificador LMV654. [13]

FiguraA 4 Respuesta en frecuencia del amplificador.



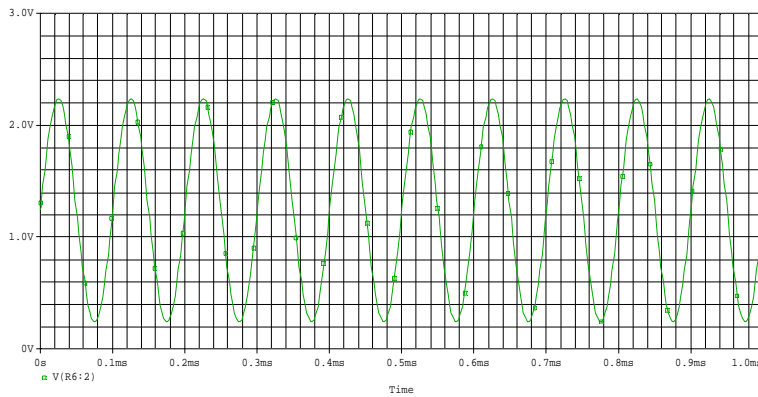
Fuente: Autores.

FiguraA 5 Respuesta en el tiempo amplificando una señal de 1mv frecuencia 10 kHz



Fuente: Autores.

FiguraA 6 Respuesta en el tiempo amplificando una señal de 1m frecuencia 250 kHz



Fuente: Autores.

ANEXO B

DISEÑO DEL PCB

Para el diseño del PCB se tienen en cuenta varios criterios, con el fin de mejorar el funcionamiento del dispositivo y evitar presencia de señales indeseadas que interfieran con el desempeño en general.

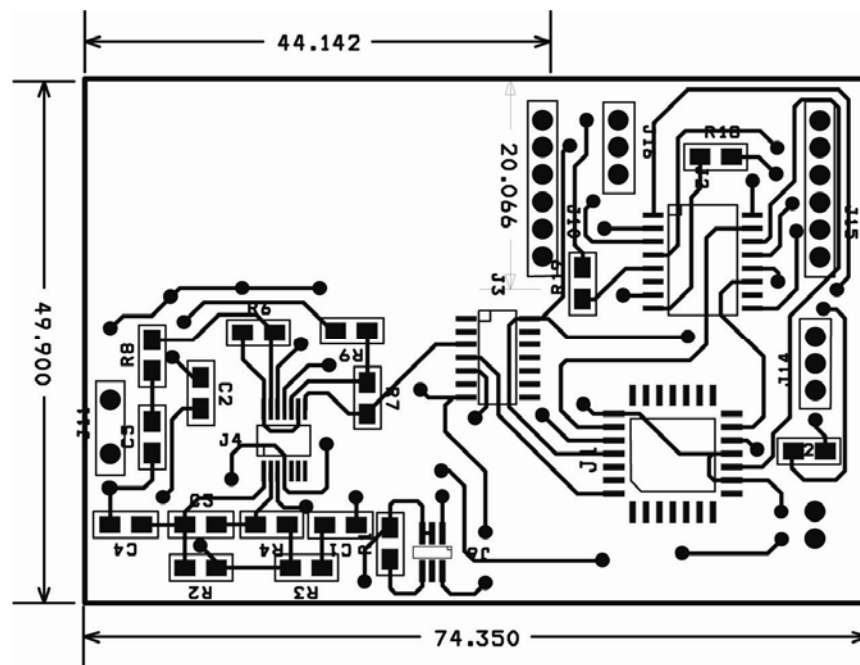
En la capa superior o capa top, se ubican los componentes que son identificados como manejadores de señal, estos deben estar aislados al máximo de posibles fuentes de interferencias o de ruido que el sistema pueda presentar. Se consideran como elementos de manejo de señal a: amplificador operacional LMV654 y los respectivos elementos pasivos que forman parte de los filtros pasabajas y etapa de conformación de onda diseñada, módem HART HT2012, switch bilateral CD4016, reloj de 460.8 kHz, microcontrolador MC68HC908QY4A. El circuito del microcontrolador tiene opción de programación, la cual se habilita y deshabilita por medio de dos jumpers J14 y J16 como se observa en el esquemático de la figura 36. La función de este par de jumpers es la de acoplar y desacoplar las tensiones de alimentación y tierra del dispositivo HART con la tensión de alimentación y tierra de la tarjeta programadora de microcontroladores. La distribución de los componentes en esta capa se genera de acuerdo a la ubicación de funcionalidades del sistema.

En la capa inferior o bottom, se ubican los elementos que pueden ser conductores de posibles interferencias en el sistema; ellos son los encargados de manejar las tensiones de alimentación y la tierra del sistema, además de las tensiones de referencia que requieren las etapas de filtrado y de conformación de onda. Los elementos que se ubican en esta capa del pcb son los siguientes: Regulador de tensión de 3.3V J12, tres fuentes de referencia J7,J8,J9, además de los distintos elementos pasivos que se requieren para el funcionamiento de dichos dispositivos. Se realiza el proceso de apantallamiento de la capa bottom

para así crear una protección de posibles interferencias presentes entre la fuente de alimentación y la tierra del sistema.

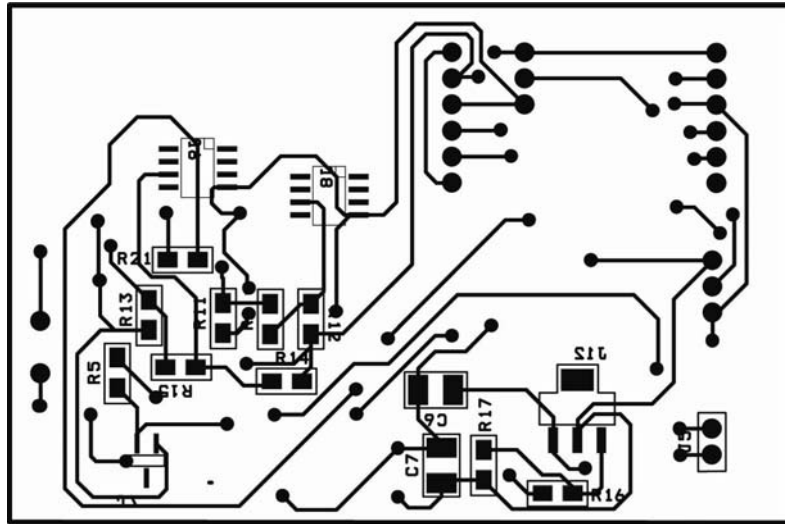
El ancho de las pistas y la separación entre pistas empleadas es de 0.4 mm, las cuales se consideran convenientes para el manejo de corriente del sistema. Como se observa en la figura B1 y B2 las dimensiones totales del PCB son: 49.9 mm de ancho, 74.350 mm de largo; en la figura B1 se observa las dimensiones de 44.142 mm de largo y 20.066 de ancho, las cuales corresponden al espacio requerido para la ubicación del módulo de transmisión y recepción Bluetooth empleado en el presente trabajo de grado.

Figura B 1 Capa TOP del PCB



Fuente: Autores

Figura B 2 Capa BOTTOM del PCB



Fuente: Autores

En la siguiente tabla se especifican los distintos dispositivos empleados dentro del diseño del layout y esquemático del pcb.

Tabla B 1 Componentes del sistema

Ítem	Cantidad	Referencia	Parte
1	1	C1	23.45n
2	1	C2	22.41n
3	1	C3	6.41n
4	1	C4	463.4n
5	1	C5	32.85n
6	2	C6,C7	10u
7	1	J1	MODEM HART
8	1	J2	MICRO- CONTROLADOR

Continuación Tabla B 1

Ítem	Cantidad	Referencia	Parte
9	1	J3	TC4016
10	1	J4	LMV654
11	1	J5	CONECTOR BATERIA
12	1	J6	RELOJ 460.8K
13	3	J7,J14,J16	CON3
14	2	J9,J8	REF2
15	1	J10	BLUETOOTH
16	1	J11	HART
17	1	J12	REGULADOR 3.3V
18	1	J15	CON6
19	2	R1,R8	220K
20	1	R2	3.3K
21	1	R3	22K
22	4	R4,R18,R19,R20	10k
23	1	R5	33k
24	1	R6	530K
25	1	R7	200K
26	1	R9	20k

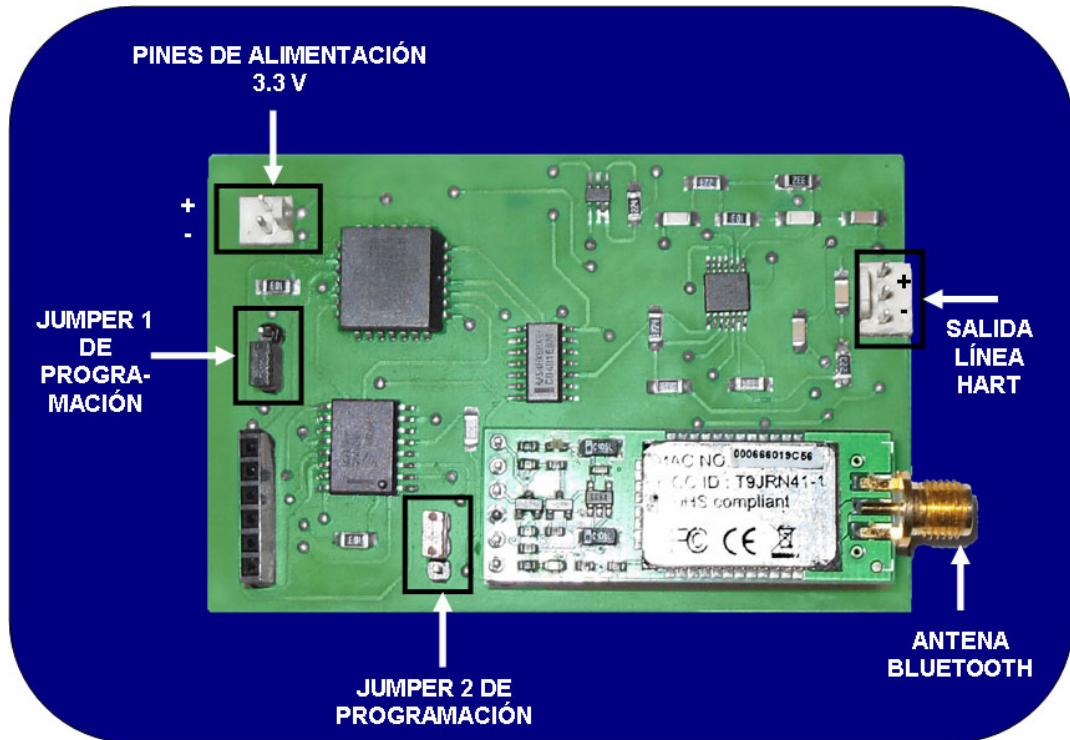
Continuación Tabla B1

Ítem	Cantidad	Referencia	Parte
27	4	R10,R12,R14,R15	150k
28	2	R11,R13	180k
29	1	R16	20
30	1	R17	120
31	1	R21	180

Fuente: Autores

ANEXO C
MANUAL DE FUNCIONAMIENTO

Figura C 1 Operación del dispositivo



Fuente: Autores.

El dispositivo está diseñado para funcionar con una batería de 3.7Volts de Ion de Litio. En la figura C1 se observan los respectivos conectores: Pines de alimentación, Jumper 1 y 2 de programación, Salida línea HART, Antena Bluetooth.

El conector de salida línea HART se conecta en paralelo a la resistencia del lazo de corriente. Los Jumpers 1 y 2, forman parte de la funcionalidad del dispositivo de acoplar y desacoplar alimentaciones y tierras. Como se ilustra en la figura, en posición normal, la ubicación de los jumpers debe ser como se

observa en la gráfica; el sistema quedará capacitado para realizar el funcionamiento requerido por el dispositivo HART. Al ubicar los jumpers 1 y 2 en la posición complementaria el sistema quedará capacitado únicamente para realizar la operación de programación del microcontrolador, esta posición acoplará la alimentación y la tierra que provienen de la tarjeta programadora de microcontroladores.

El conector de antena Bluetooth, se requiere para funcionamientos de largo alcance, como por ejemplo cuando se desee estar fuera de áreas peligrosas. El dispositivo como se ha mencionado anteriormente viene provisto de una antena tipo dipolo, que permite que esta funcionalidad sea posible.

Figura C 2 Visualización Software celular.



Fuente: Autores.

El testeo del software del teléfono celular se ha realizado en el modelo 2760 de la empresa Nokia. Como requerimiento específico del tipo de celular a utilizar

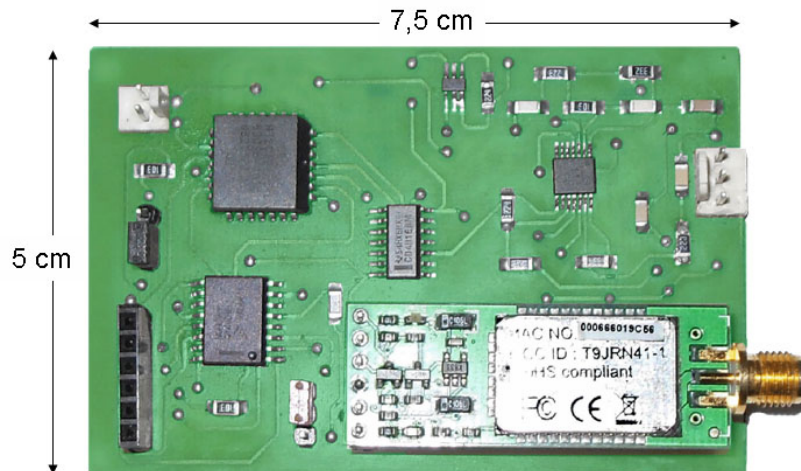
se tiene que debe soportar aplicaciones J2ME, acceso a conectividad Bluetooth, y compatibilidad con la librería Bluetooth de Mobile Processing.

La ejecución del software es totalmente intuitiva. Se ejecuta el software desde la ubicación en el teléfono móvil, al inicio se realiza una búsqueda de los dispositivos que presenten en el momento conectividad Bluetooth activa y se genera una lista de estos dispositivos, seguidamente se selecciona el dispositivo denominado HART (nombre opcional predeterminado en el módulo Bluetooth) y se activa la opción de conexión e intercambio de información. Seguidamente el dispositivo entrará a la página principal del entorno de visualización (figura 28), por medio del cual se seleccionarán las opciones deseadas, entrar a página de manejo de comandos, página de información y página de ayuda o Help.

ANEXO D

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS HART COMMUNICATOR

Figura D 1 Producto Final.



Fuente: Autores.

ALCANCE

25 m en espacio abierto, 20 m con obstáculos en espacio cerrado.

AUTONOMÍA

15 h con una batería de 750 mAh. El diseño ajusta características de bajo consumo de corriente logrando con esto un consumo en transmisión y recepción de datos de aproximadamente 40 mA.

REQUERIMIENTOS

Teléfono celular con tecnología

Bluetooth y soporte Java.

Una batería de 3.7 V.

Sus requerimientos mínimos hacen que su utilización sea totalmente al alcance de un gran número de interesados. La presencia masiva de teléfonos celulares con dichas características que se encuentran en el mercado hace atractiva y de fácil implementación la aplicación desarrollada.

DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO

Interfaz completa de dispositivo HART, cumple con la capa física HART, Conectividad Bluetooth. Fácil ajuste para programación del microcontrolador. Posibilidad de configuración modulo Bluetooth mediante comandos AT. Bluetooth 2.0.

DIMENSIONES

5 cm de ancho x 7,5 cm de largo.

La implementación de dispositivos electrónicos de tipo superficial hacen posible el desarrollo de un producto que se ajusta a un tamaño totalmente cómodo y portable.

ANEXO E
COSTOS DE DESARROLLO

Tabla E 1 Costos por dispositivos de la etapa de Capa Física Hart.

ETAPA	DISPOSITIVO	CANTIDAD	COSTO POR UNIDAD . US\$	COSTO TOTAL . US\$
ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL	Amplificador operacional LMV654	1	2,82	2,82
	Fuente de referencia LM4041A	2	2,17	4,34
MODULACIÓN/DEMODULACIÓN	Módem HT2012	1	5,9	5,9
	LTC6906 Circuito Reloj 460.8 kHz	1	1,86	1,86
INTERFAZ HART	Switch bilateral cd4016	1	0,36	0,36
PROCESAMIENTO DE DATOS	Microcontrolador MC68HC908QY4	1	3,3	3,3

Continuación Tabla E 1

ETAPA	DISPOSITIVO	CANTIDAD	COSTO POR UNIDAD. US\$	COSTO TOTAL. US\$
ALIMENTACIÓN	Regulador de tensión TPS73433	1	1,35	1,35
	BATERIA 3.7V 750mah	1	13,25	13,25
DISPOSITIVOS PASIVOS	Resistores	21	0,0082	0,1722
	Capacitores	6	0,103	0,618
TOTAL		36		33,9702

Fuente: Autores.

Tabla E 2 Hardware Etapa Capa Física HART

Descripción	COSTO US\$
Dispositivos Electrónicos	33,9702
Fabricación PCB	15
TOTAL:	48,9702

Fuente: Autores

Tabla E 3 Hardware Etapa Bluetooth

Descripción	Cantidad	Costo Unidad US\$	Costo Total \$US
Módulo Bluetooth BlueSMIRF RP-SMA	1	64,95	64,95
Antena Módulo Bluetooth	1	7,95	7,95
TOTAL:			72,9

Fuente: Autores.

Tabla E 4 Costos Totales Hardware

Descripción	Valor en US\$
Hardware Etapa Capa Física HART	48,9702
Hardware Etapa Bluetooth	72,9
Otros (Cables, conectores, carcaza, etc)	15
Costo Total:	136,8702

Fuente: Autores.

Tabla E 5 Gastos de Desarrollo Intelectual y Material

Rubros	Descripción del Material		Total
	Autores	Contrapartida	
Gastos de Personal	\$5'120.000	\$2'400.000	\$7'520.000
Equipos (desarrollo Hardware y Software)	\$2'150.000	0	\$2'150.000
Materiales	\$286.396	0	\$286.396

Continuación Tabla E 5

TOTAL:	\$7'556.396	\$2'400.000	Esperado: \$10'195.000 Obtenido: \$9'956.396
--------	-------------	-------------	---

Fuente: Autores.

Tabla E 6 Dispositivos en el mercado.

Dispositivo	Descripción	Precio Unidad en US\$
Hart Communicator E3T	Interfaz completa de dispositivo HART. Cumple con la capa física HART. Conectividad Bluetooth.	136,8702
MicroLink HART Modem - Interfaz RS-232	Interfaz completa de dispositivo HART. Cumple con la capa física HART. Interfaz RS-232	195,00
HM-USB, HART Modem USB	Interfaz completa de dispositivo HART. Cumple con la capa física HART. Interfaz USB	\$299.99
MicroLink HART Modem - Interfaz USB	Interfaz completa de dispositivo HART. Cumple con la capa física HART. Interfaz USB	245,00

Continuación Tabla E 6

HM-BT-BAT-ER, HART Modem Bluetooth, Battery Powered	Interfaz completa de dispositivo HART. Cumple con la capa física HART. Conectividad Bluetooth	\$349.99
---	---	----------

Fuente: Autores.

Tabla E 7 Software en el mercado

Software	Aplicación.	Precio Unidad en US\$
DevCom2000 Smart Device Communicator	Software desarrollado para emplearse en PC. Múltiples DD integradas.	\$699,99
HART Protocol DTM Software for PACTware FDT	Software genérico que soporta los comandos HART Universales y de práctica común.	\$195,00
Software HART Communicator	Software soporta 3 comandos universales y 2 comando de práctica común.	\$50,00

Fuente: Autores.

Precios según: www.microflex-llc.com

Observando analíticamente la tabla E6 y E7, y cuantificando los distintos valores comerciales de las diferentes referencias presentes en el mercado, se observa que el dispositivo HART desarrollado dentro del presente proyecto de grado, hace una opción muy atractiva por medio de la cual se pueda optar.

Dentro del mercado el HART COMMUNICATOR contará con las aplicaciones en donde se requiera el uso de los teléfonos móviles como medio que

proporciona movilidad. La idea de contar con un dispositivo que genere movilidad, conectividad y funcionalidad, representa un gran criterio de selección por lo cual se presenta el dispositivo desarrollado como una buena opción de implementación dentro del proceso industrial en el cual se hace referencia desde el inicio de este libro.