

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica



“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA COMUNICACIÓN CELULAR
GSM UTILIZANDO SENSORES PARA EL MONITOREO, SUPERVISIÓN Y CONTROL
DE DATOS EN EL CULTIVO DE LECHUGAS POR HIDROPONÍA DE LA EMPRESA
FAGSOL S.A.C.”

Tesis presentada por el Bachiller:

Yauri Quispe, Ivan Yunior

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Electrónico

Asesor:

Mgtr. Ing. Sulla Torres, Raúl Ricardo

AREQUIPA – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
UGB - SAN JOSE S/N - UMBALCOLO



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DICTAMEN DE BORRADOR DE TESIS

Los que suscriben:

Ing. Ronald Coaguila Gomez

Ing. Raúl Silla Torres

Jurado Dictaminador del Borrador de Tesis titulado:

Diseño e Implementación de un Sistema comunicación celular

(GSM) utilizando sensores para el monitoreo, supervisión y

control de datos en el cultivo de lechugas por hidroponía de la Empresa

FAESOL S.A.C.

Nombrados con Decreto N°: 014-DEPIE-2017, de fecha: 11 diciembre 2017

Presentado por el (la) los Bachiller (es):

1. Yauri Quispe Ivan Junior

2. —

cumple con emitir su dictamen:

- No registra observaciones, es procedente
- Registra observaciones que deben ser subsanadas, según hoja adjunta

Arequipa, 13 diciembre 2017

Ing. Ronald Coaguila Gomez

Código Nro: 1507

Ing. Raúl Silla Torres

Código Nro.: 7767

INDICE

AGRADECIMIENTO	xiii
DEDICATORIA	xiv
INTRODUCCION	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xviii
1 CAPITULO I.....	1
FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACION.....	1
1.1 Antecedentes de investigación	1
1.2 Identificación del Problema	1
1.3 Descripción del Problema	2
1.4 Justificación del problema.....	3
1.5 Objetivos	3
1.5.1 Objetivo General	3
1.5.2 Objetivos Específicos.....	3
1.6 Hipótesis.....	4
1.7 ¿Qué se quiere hacer?.....	4
1.8 ¿Dónde se va a realizar el estudio?	4
2 CAPITULO II.....	6
MARCO TEORICO.....	6
2.1 Hidroponía.....	6
2.2 Técnica de la solución nutritiva recirculante (NFT)	7
2.3 Componentes y materiales del sistema NFT.....	7
a) Estanque colector.	8
b) Canales de cultivo.	8
c) Bomba.	9
d) Red de distribución.....	10
e) Tubería colectora.....	10
2.4 Variables influyentes en el crecimiento de las lechugas hidropónicas.	11
2.4.1 Acides – Basicidad (pH)	11
2.4.2 Temperatura.	12
2.4.3 Humedad Atmosférica	12

2.4.4	Radiación Ultravioleta	13
2.5	Funcionamiento de la Telefonía Móvil Celular	14
a)	Aumento de la capacidad	16
b)	Adición de nuevos canales:	16
c)	Uso de frecuencias prestadas:	16
d)	División de celdas:	16
e)	Sectorización de celdas:	17
f)	Microceldas:	17
2.6	Telemetría.....	18
2.6.1	Definición	18
2.6.2	Estructura de un sistema de telemetría.....	19
2.7	Evolución de la telefonía celular.....	21
2.7.1	Primera Generación	23
2.7.2	Segunda generación	24
2.7.3	Generación 2.5	25
2.7.4	Tercera generación.....	26
2.7.5	Cuarta generación	29
2.8	Tecnologías de Acceso Múltiple	32
2.8.1	La tecnología FDMA.....	32
2.8.2	La tecnología TDMA.....	33
2.8.3	La tecnología CDMA.....	33
2.9	Sistema GSM ("Global System for Mobile communications")	34
2.9.1	La tecnología GSM	35
2.9.2	Servicios de Telecomunicación GSM.....	36
2.9.2.1	Servicios de Portadores	36
2.9.2.2	Teleservicios.....	36
2.9.3	Banda de frecuencias GSM.....	36
2.9.4	Factores del éxito de GSM.....	40
2.9.5	Arquitectura del sistema GSM.....	40
2.9.5.1	Estación Móvil (MS).....	41
2.9.5.2	Sistema Estación Base (BSS).....	42
2.9.5.3	Subsistema de conmutación de Red (NSS)	43
2.9.5.4	Subsistema de mantenimiento y operación (OMSS).....	45

2.10	Sistema GPRS	46
2.10.1	Red GPRS	47
2.10.2	Arquitectura de red GPRS	48
2.11	SMS (SHORT MESSAGE SERVICE).....	49
2.11.1	Características	50
2.11.2	Arquitectura	51
2.11.2.1	SME (Short Messaging Entity)	51
2.11.2.2	MSC (Mobile Switching Center)	51
2.11.2.3	SMSC (Short Message Service Center)	51
2.11.2.4	SMS-GMSC (SMS Gateway Mobile Switching Center).....	51
2.11.2.5	SMS-IWMSC (SMS inter-working Gateway Mobile Switching Center).....	51
2.11.3	Modelo de Capas.....	52
2.11.3.1	Capa Aplicación	52
2.11.3.2	Capa Transferencia.....	52
2.11.3.3	Capa Retransmisión	52
2.11.3.4	Capa Enlace	53
2.11.4	Tipos de transacciones SME-SMSC.....	53
2.11.5	Elementos del SMS	54
2.11.6	TIPOS DE SMS	55
2.11.6.1	Punto a punto.....	55
2.11.6.2	Punto multipunto	56
2.11.7	Aplicaciones.....	56
2.12	Los Comandos AT	57
2.12.1	Comandos AT+	58
3	CAPITULO III	60
	DESCRIPCIÓN Y CARACTERISTICAS DE DISPOSITIVOS ELECTRONICOS	60
3.1	Selección del dispositivo de comunicación GSM.....	60
3.1.1	Características requeridas de los terminales.....	60
a)	Puerto Serial de Comunicaciones.....	60
b)	Capacidad de envío y recepción de mensajes (Short Message Service).....	60
c)	Protocolo de comunicaciones.....	60
3.2	Selección del dispositivo de comunicación Inalámbrica.....	61
3.2.1	Tipos de redes inalámbricas	61

3.2.2 Tipos de módulos inalámbricos:	62
a) Módulo Xbee.....	62
b) Módulo HC-05 Bluetooth.....	63
c) Módulo ESP8266 Wifi	65
3.3 Selección de los sensores a utilizarse.....	67
3.3.1 Transductores y Sensores	67
3.3.2 Medidor de PH - Potencial de Hidrogeno	68
a) Sensores electroquímicos	69
b) Sensores de tipo isfet (transistor de efecto de campo por ión selectivo).....	73
c) Sensores ópticos	75
d) Calibración del Sensor de PH.....	77
3.3.3 Medidor de Temperatura	79
1. Termocupla.....	79
2. Termistores.....	83
3. Termómetros infrarrojos	83
4. Termoresistencias.....	86
3.3.4 Medidor de Humedad.....	88
3.3.5 Electroválvula.....	89
3.3.6 Actuadores	90
3.4 Selección del Microcontrolador	90
3.4.1. Características requeridas del microcontrolador	90
3.4.2 Microcontrolador PIC 16F877A	91
3.4.3 Microcontrolador PIC 12F675	92
3.5 Selección de componentes electrónicos	94
3.5.1 Multiplexor 4051.....	94
3.5.2 Regulador de voltaje LM7805.....	95
3.5.3 Oscilador de Cristal 4MHZ.....	96
3.5.4 Fuente de poder	97
4 CAPITULO IV	98
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN CELULAR GSM	98
4.1. Generalidades	98
4.2. Diseño del sistema de medición, procesamiento y comunicación de datos	99
4.2.1. Configuración básica del PIC16F877A	102

a)	Fuente de alimentación del microcontrolador	102
b)	Diseño del circuito oscilador de frecuencia	103
c)	Configuración del puerto de reset general.....	104
4.2.2.	Diseño de adquisición de la señal de temperatura impermeable y PH	106
a)	Configuración básica del PIC12F675	107
b)	Sensor de temperatura impermeable DS18B20	109
c)	Sensor de PH Líquido PH0-14	113
	Obtención de los valores de PH y voltaje del sensor PH0-14	115
4.2.3.	Diseño de adquisición de la señal de humedad y temperatura de ambiente. ...	117
a)	Sensor de temperatura de ambiente DHT22	119
b)	Fuente de alimentación del sensor DHT22	122
4.2.4.	Modulo Inalámbrico hc-12 si4463 433 Mhz en modo transmisión.....	123
4.3.	Diseño de la central de monitoreo.....	127
4.3.1.	Configuración básica del PIC16F877A	130
a)	Fuente de alimentación del microcontrolador.....	130
b)	Diseño del circuito oscilador de frecuencia	130
c)	Configuración del puerto de reset general.....	131
4.3.2.	Módulo de pantalla LCD de caracteres 20x4.....	133
4.3.3.	Modulo Inalámbrico hc-12 si4463 433 Mhz en modo Recepción.....	136
4.3.4.	Diagrama de flujo de la programación del sistema general	138
4.4.	Costos del prototipo	142
5	CAPITULO V.....	144
	EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS	144
5.1.	Introducción	144
5.2.	El sistema de medición en campo	146
	CAPITULO VI.....	154
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	154
	CONCLUSIONES:.....	154
	RECOMENDACIONES:.....	156
	BIBLIOGRAFIA	157
	ANEXOS	161
	ANEXO 1: SIM900 GSM/GPRS MODULE.....	161
	ANEXO 2: DESCRIPCIÓN DE PINES DEL MICROCONTROLADOR 16F877A.....	164

ANEXO 3: DESCRIPCIÓN DE PINES DEL MICROCONTROLADOR 12F675.....	168
ANEXO 4: TEMPERATURE AND HUMIDITY MODULE AM2302-DHT22 DATASHEET	169
ANEXO 5: DS18B20 WATERPROOF TEMPERATURE SENSOR CABLE	173
ANEXO 6: HOJA DE DATOS DEL TRANSISTOR BC548B	176
ANEXO 7: HOJA DE DATOS DEL REGULADOR DE VOLTAJE LM7805.....	178
ANEXO 8: HOJA DE DATOS DEL MODULO LCD ERM2004FS-2	181
ANEXO 9: DISEÑO DE PISTAS Y PLACA	183
ANEXO 10: PROGRAMACIÓN DEL PROCESO.....	186



INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación del proyecto.....	5
Figura 1.2. Área de cultivo por hidroponía.....	5
Figura 2.1. Sistemas hidropónicos.....	7
Figura 2.2. Prototipo de estanque para los NFT.....	8
Figura 2.3. Tubos para canales de NFT.....	9
Figura 2.4. Bomba de agua para el sistema “NFT”.....	10
Figura 2.5. Sistema hidropónico “NFT”.....	11
Figura 2.6. Escala de pH.....	12
Figura 2.7. Tipos de Radiación Ultravioleta.....	14
Figura 2.8. Patrón de radio.....	15
Figura 2.9. Sistema telefónico celular simplificado.....	15
Figura 2.10. División de celdas.....	17
Figura 2.11. Diagrama de bloques de un sistema de transmisión de datos.....	18
Figura 2.12. Esquema general de bloques de un sistema de Telemetría.....	19
Figura 2.13. Esquema de un sistema de telemetría: (a) Captura y transmisión de datos (b) Medio de Transmisión (c) Equipo receptor de monitoreo.....	20
Figura 2.14. Modelo DynaTAC 8000X.....	22
Figura 2.15. Evolución temporal estimada del número de usuarios de telefonía móvil/fija hasta 2012.....	29
Figura 2.16. Evolución de telefonía celular.....	31
Figura 2.17. Diferencia entre TDMA, FDMA y CDMA.....	34
Figura 2.18. Frame GSM.....	39
Figura 2.19. Esquema general de la arquitectura básica de una red GSM.....	41
Figura 2.20. Tarjeta SIM.....	42
Figura 2.21. Se detalla otro esquema general de una red GSM.....	46
Figura 2.22. Arquitectura de la red GPRS.....	49
Figura 2.23. Arquitectura de la red SMS.....	52
Figura 2.24. Estructura básica de la red para la transferencia de mensajes cortos.....	52
Figura 2.25. Stack de protocolos SMS.....	53
Figura 2.26. Tipos de transacciones.....	54
Figura 2.27. Mobile Originated (MO).....	55
Figura 2.28. Mobile terminated (MT).....	56

Figura 2.29. Envío de comandos AT	58
Figura 2.30. Envío de comandos AT	59
Figura 3.1. Tipos de redes inalámbricas	62
Figura 3.2. Conexiones para el Xbee.	63
Figura 3.3. Divisor de tensión para alimentar un módulo Xbee con Arduino.	63
Figura 3.4. Aplicación para transmitir en tiempo real mensajes por el aire con los módulos Xbee.	63
Figura 3.5. Diagrama general del módulo HC-05 Bluetooth.....	64
Figura 3.6. Conexión con Arduino	65
Figura 3.7. Diagrama general del módulo ESP8266 Wifi	67
Figura 3.8. Conexión con Arduino	67
Figura 3.9. Criterios de especificaciones técnicas para elegir sensores.....	68
Figura 3.10. Valores típicos de PH.	69
Figura 3.11. Comparaciones de sustancias con valores típicos de PH	69
Figura 3.12. Electrodo de Ion selectivo	70
Figura 3.13. Sensor de PH tipo vidrio	71
Figura 3.14. Electrodo de membrana líquida.....	71
Figura 3.15. Diagrama de un semiconductor con 3 conexiones eléctricas	72
Figura 3.16. Estructura de un MOSFET: G-gate, O-oxido de compuerta, D-drenador, S-fuente, B-sustrato.	73
Figura 3.17. Diferencias y similitudes entre a) MOSFET y b) ISFET.	73
Figura 3.18. Funcionamiento del sensor tipo Isfet.....	74
Figura 3.19. Los ISFETs siguen la ecuación de Nernst.....	75
Figura 3.20. Esquema de un sensor óptico	76
Figura 3.21. Estructura básica del medidor	79
Figura 3.22. Esquema de conexión de cable compensado y termocupla.....	80
Figura 3.23. Curvas de respuesta característica de termocuplas.....	82
Figura 3.24. Tipos de uniones de Termocupla a. Unión expuesta, b. Unión aterrizada, c. Unión no aterrizada.....	82
Figura 3.25. Partes de una termocupla industrial.....	82
Figura 3.26. Termómetro de no contacto basado en un sensor IR.....	84
Figura 3.27. Los sensores de temperatura IR leen la energía reflejada, transmitida o emitida desde un objeto. Únicamente la energía emitida indica la temperatura del mismo. (a) Principio de funcionamiento. (b) Estructura funcional	85

Figura 3.28. Tipo de termoresistencias	86
Figura 3.29. Partes del RTD (Resistencias detectoras de temperatura).....	88
Figura 3.30. Terminales de conexión del microcontrolador PIC 16F877A.....	92
Figura 3.31. Terminales de conexión del microcontrolador PIC 12F675.	94
Figura 3.32. Circuito de conexión del microcontrolador PIC 12F675.	94
Figura 3.33. Diagrama funcional del Multiplexor 4051	95
Figura 3.34. Diagrama de pines del Multiplexor 4051	95
Figura 3.35. Diagrama de pines del LM7805	96
Figura 3.36. Diagrama del LM7805	96
Figura 3.37. Fuente de poder estabilizada 12 V DC – 3A Protección de picos de corriente: 220 VAC, 12VDC y 3A.....	97
Figura 4.1. Diagrama general de los componentes del sistema	98
Figura 4.2. Diagrama de bloques general del sistema.	99
Figura 4.3. Diagrama de bloques del sistema de medición, procesamiento y comunicación de datos.....	100
Figura 4.4. Esquemático de los pines utilizados en el microcontrolador del sistema de medición, procesamiento y comunicación de datos.....	100
Figura 4.5. Sistema de medición, procesamiento y comunicación de datos.....	101
Figura 4.6. Placa impresa del sistema de medición, procesamiento y comunicación de datos	101
Figura 4.7. Esquemático del regulador de voltaje	102
Figura 4.8. Circuito oscilador de frecuencia.....	104
Figura 4.9. Circuito de RESET general	105
Figura 4.10. Circuito de la señal de temperatura impermeable y PH	107
Figura 4.11. Placa de Señal de temperatura impermeable y PH.....	107
Figura 4.12. Esquemático del regulador de voltaje	108
Figura 4.13. Circuito oscilador de frecuencia.....	109
Figura 4.14. Conexión del sensor de temperatura impermeable con la tarjeta Arduino.....	111
Figura 4.15. Encapsulamientos del sensor DS18B20	112
Figura 4.16. Circuito de conexión del sensor DS18B20.....	112
Figura 4.17. Diagrama de circuito del sensor de PH0-14.....	114
Figura 4.18. Sensor de PH0-14.....	114
Figura 4.19. Gráfica de la ecuación de conversión entre voltaje y pH medido. $y = -5.70 * x + 21.34$	115

Figura 4.20. Circuito de la señal de humedad y temperatura de ambiente	118
Figura 4.21. Placa de la señal de humedad y temperatura de ambiente	118
Figura 4.22. Descripción de pines del sensor DHT22	121
Figura 4.23. El esquema eléctrico del sensor DHT22	122
Figura 4.24. Esquemático del regulador de voltaje	123
Figura 4.25. Modulo Inalámbrico hc-12 si4463 -433 Mhz.....	125
Figura 4.26. Diagrama del circuito para modulo inalámbrico hc-12 si4463 - 433 Mhz	125
Figura 4.27. Conexión para modulo inalámbrico hc-12 si4463 - 433 Mhz.....	126
Figura 4.28. Conexión de la antena tipo resorte	126
Figura 4.29. Módulo SIM900 850/900/1800/1900 MHz GPRS/GSM.....	127
Figura 4.30. Diagrama de bloques de la central de monitoreo	128
Figura 4.31. Esquemático de los pines utilizados en el microcontrolador para la central de monitoreo	129
Figura 4.32. Central de monitoreo	129
Figura 4.33. Esquemático del regulador de voltaje	130
Figura 4.34. Circuito oscilador de frecuencia.....	131
Figura 4.35. Circuito de RESET general	132
Figura 4.36. Módulo de pantalla LCD de caracteres 20x4	134
Figura 4.37. Circuito de acoplamiento del transistor BC548B.....	134
Figura 4.38. Circuito equivalente para el diseño de las resistencias R1 Y R2 para el transistor BC548B.....	135
Figura 4.39. Modulo Inalámbrico hc-12 si4463 -433 Mhz.....	137
Figura 4.40. Diagrama del circuito para modulo inalámbrico hc-12 si4463 - 433 Mhz	137
Figura 4.41. Conexión para modulo inalámbrico hc-12 si4463 - 433 Mhz.....	138
Figura 4.42. Conexión de la antena tipo resorte	138
Figura 4.43. Diagrama de flujo de la etapa del sistema de medición, procesamiento y comunicación de datos - Obtención y envío de datos.....	140
Figura 4.44. Diagrama de flujo de la etapa del sistema de medición, procesamiento y comunicación de datos – Alerta por mensaje de texto SMS para valores máximos y mínimos.	141
Figura 4.45. Diagrama de flujo de la etapa central de monitoreo.....	142
Figura 5.1. Ilustración de la recepción del mensaje de texto al terminal móvil.	145

Figura 5.2. Sistema de comunicación celular GSM. (a) Lugar de instalación. (b) Sistema de medición en funcionamiento. (c) Sistema de medición, procesamiento y comunicación de datos. (d) Central de monitoreo. 146

Figura 5.3. Implementación del sistema de medición del PH y la temperatura del agua... 147

Figura 5.4. Medición de alerta para una temperatura 0.0 °C en el equipo terminal 148

Figura 5.5. Medición de alerta para una temperatura 0.0 °C en la central de monitoreo 148

Figura 5.6. Medición de alerta para un PH de 4 en el equipo terminal 149

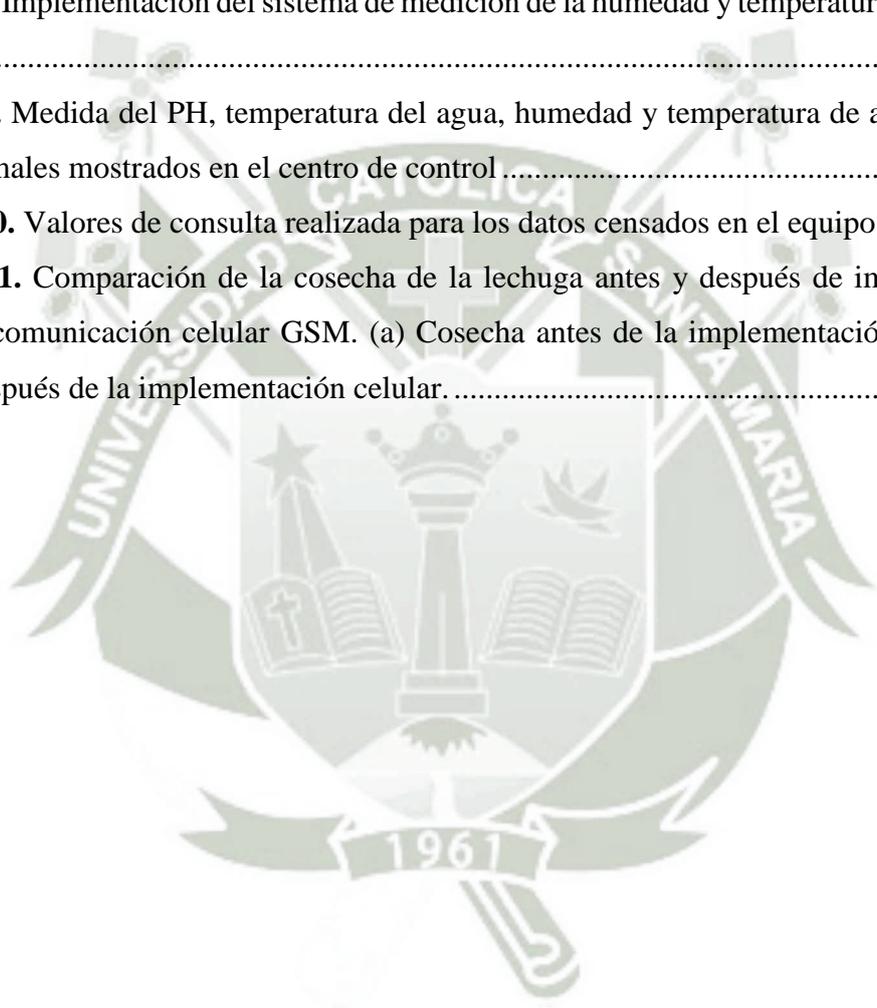
Figura 5.7. Medición de alerta para un para un PH de 4 en la central de monitoreo..... 149

Figura 5.8. Implementación del sistema de medición de la humedad y temperatura de ambiente 150

Figura 5.9. Medida del PH, temperatura del agua, humedad y temperatura de ambiente para valores normales mostrados en el centro de control 151

Figura 5.10. Valores de consulta realizada para los datos censados en el equipo terminal. 151

Figura 5.11. Comparación de la cosecha de la lechuga antes y después de implementar el sistema de comunicación celular GSM. (a) Cosecha antes de la implementación celular. (b) Cosecha después de la implementación celular..... 152



INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Parámetros típicos para macroceldas y microceldas.....	18
Tabla 2.2. Velocidad de descarga de las tecnologías móviles.	32
Tabla 2.3. Bandas de frecuencia estandarizadas GSM (Timo Halonen, 2da edición).....	37
Tabla 2.4. Asignaciones en las bandas de 800 MHz, 900 MHz y 1900 MHz para telefonía móvil en Perú	38
Tabla 2.5. Bandas de frecuencias GSM.	39
Tabla 3.1. Comparación de Sensores	77
Tabla 3.2. Tipo de termocuplas estándar	81
Tabla 3.3. Los tipos en los que se divide este tipo de sensor.....	87
Tabla 4.1. Valores de condensadores recomendados para osciladores según Datasheet PIC16F877A (ver Anexo 2).....	103
Tabla 4.2. Equivalente de voltaje, PH y valor decimal (V _{adc}).....	117
Tabla 4.3. Configuración de los módulos de potencia transmitida, x deseable 1-8, la potencia de transmisión del módulo correspondiente de la siguiente manera.....	125
Tabla 4.4. Límites permitidos para los valores censados.....	139
Tabla 4.5. Costos de elementos y materiales	143
Tabla 4.6. Costos totales	143
Tabla 5.1. Tabla de producción antes de la implementación celular GSM	152
Tabla 5.2. Tabla de producción después de la implementación celular GSM	152

AGRADECIMIENTO

Agradecer profundamente a Dios por guiar mis pasos y darme fuerzas para levantarme en los momentos difíciles.

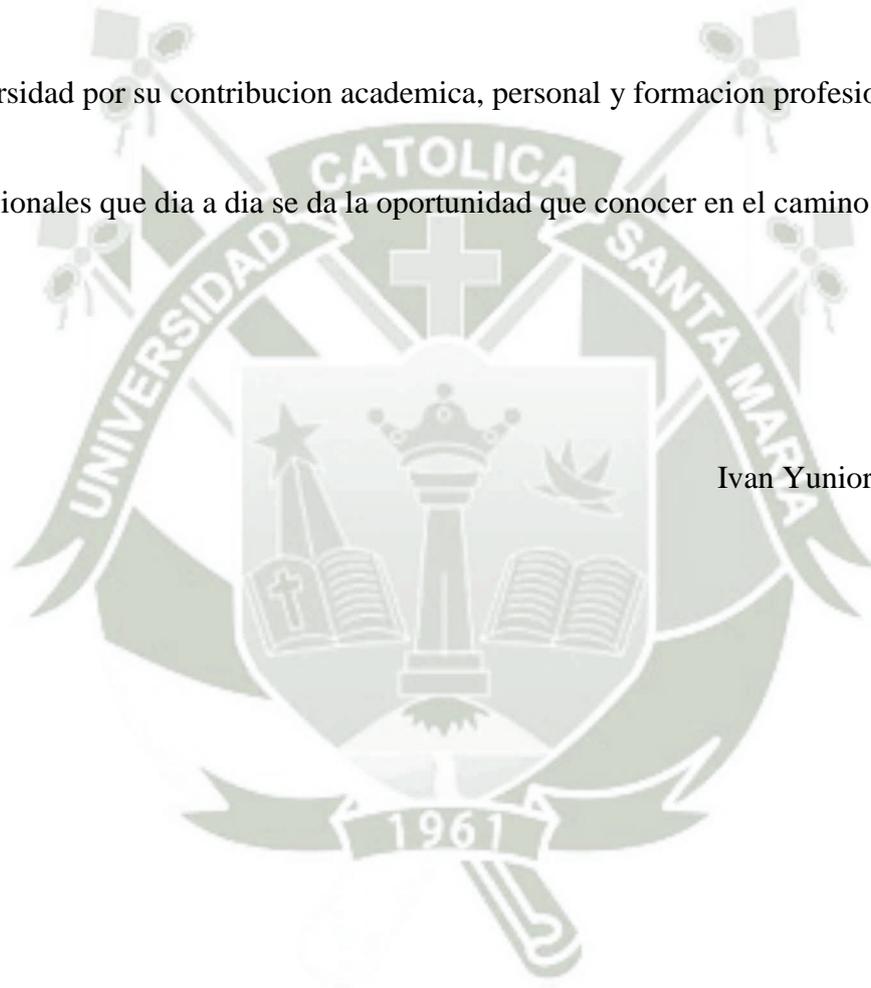
A mi padres Felipe e Ysabel, por hacerme un hombre de bien con sus consejos inagotables inculcandome siempre valores y principios.

A mis hermanos que son mis pilares por sus buenos ejemplos a seguir.

A mi Universidad por su contribucion academica, personal y formacion profesional.

A los profesionales que día a día se da la oportunidad que conocer en el camino.

Ivan Yunior Yauri Quispe



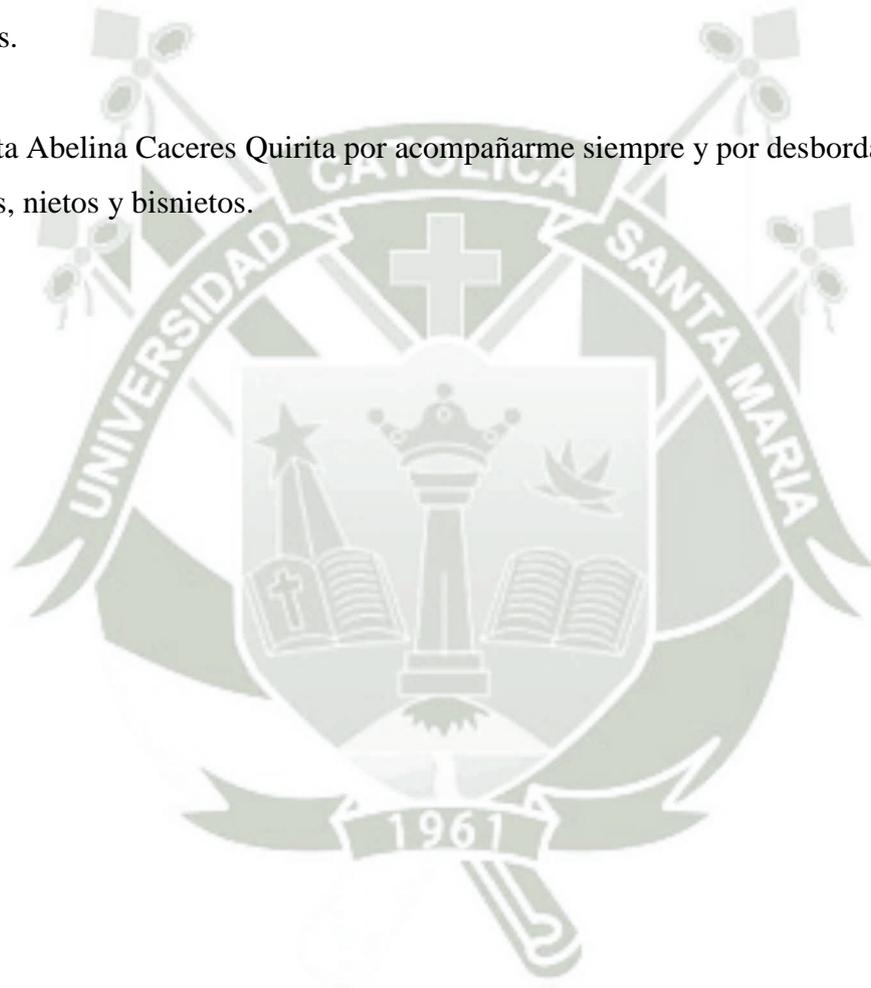
DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad de dar alegrías a mi familia, por darme la oportunidad de aprender día tras día, por darme la vida para seguir cumpliendo mis metas y objetivos trazados.

A mi padre Felipe Yauri Hilario y madre Ysabel Quispe Caceres por ser un ejemplo de familia y de vida.

A mis hermanos Amilcar, Roxana y Lizbeth por estar siempre conmigo en las alegrías y adversidades.

A mi abuelita Abelina Caceres Quirita por acompañarme siempre y por desbordar tanto cariño por sus hijos, nietos y bisnietos.



INTRODUCCION

En la actualidad la telefonía celular es el medio de comunicación más efectivo y de mayor crecimiento debido a su versatilidad, razón por la cual el tráfico de telefonía celular a nivel nacional se ha visto en incremento de manera acelerada, especialmente en lugares de alta concentración de personas, como es el caso puntual de las poblaciones de Perú.

Debido a la gran cantidad de servicios y facilidades que ofrece GSM, se ha constituido en una tecnología predominante. Por tal razón el presente proyecto pretende utilizar las facilidades de la tecnología GSM para el envío de mensajes SMS que reporten los datos censados en el cultivo de lechugas por hidroponía.

El concepto de movilidad está cada día más extendido en las comunicaciones. Esto supone una gran ventaja porque permite disponer del servicio en cualquier momento, en cualquier lugar y de forma mucho más personal. De hecho la expansión del uso de los teléfonos móviles es uno de los procesos que más está cambiando los hábitos de las personas.

El sistema GSM (Global System for Mobile Communications – Sistema Global de Comunicaciones Móviles), con más de 1000 millones de usuarios en todo el mundo. Es un sistema de comunicaciones móviles digital cuyas especificaciones las ha proporcionado el ETSI (Instituto de Estandarización de las Telecomunicaciones Europeas). El GSM es un estándar mundial de comunicaciones móviles operando en más de 200 países en todo el mundo y con más de 300 redes en servicio.

Europa también ha definido el DCS 1800 (Digital Cellular System 1800) que es una variante del GSM que emplea la banda de 1.800 MHz, y que consigue más capacidad que el GSM.

El 93.4% de los hogares peruanos tienen acceso a la telefonía móvil, según los resultados de la Encuesta Residencial de Servicios de Telecomunicaciones (ERESTEL) al 2015 que realizó el OSIPTEL. El estudio muestra que el mayor acceso al servicio de telefonía móvil en el Perú es independiente del perfil social.

Según el último reporte de OSIPTEL Marzo del 2016, más de 15,4 millones de usuarios con dispositivos móviles acceden a internet. Eso equivale al 51% de líneas totales en el país. Curiosamente los que más acceden a internet son las líneas prepago que no cuentan con datos dentro de su plan tarifario.

RESUMEN

En el presente trabajo de tesis se presenta el diseño e implementación de un sistema de comunicación celular GSM, un sistema en la cual tiene la capacidad de monitoreo, supervisión y control utilizando sensores indicadores de temperatura impermeable, PH, humedad y temperatura de ambiente a través de un dispositivo móvil de cualquier marca y modelo, mediante de servicios de mensajes cortos (SMS) mediante la tecnología GSM, hacia un equipo móvil elegido por el usuario, el cual recibirá los mensajes de texto con los datos obtenidos de los sensores indicadores.

Se utilizara sensores indicadores, módulos de transmisión inalámbrica para supervisión en el centro control de los parámetros censados.

El diseño del sistema de comunicación Celular GSM para transmisión de datos censados, trabajara con el protocolo Inalámbrico con el espectro radioeléctrico en la banda Ultra alta frecuencia UHF 300-3000 MHz. Además se usara un módulo HC-12 en la banda 433 MHz para realizar un sistema redundante en comunicación en un centro de control ubicado a 300 metros aproximadamente de la placa principal.

La etapa de supervisión y control se efectuara en el centro de control con la visualización de datos censados en un módulo LCD de pantalla de caracteres de 20x4 que está ubicado a 300 metros aproximadamente de la placa central del proyecto.

Para que todo el sistema funcione, se ha diseñado e implementado una arquitectura, hardware, software y de comunicaciones como la programación de los sensores. Para la elección de tecnologías se han utilizado de hardware y software libre en la medida de lo posible.

El sistema de comunicación móvil se ha implantado en un sistema hidropónico en el que se cultivan lechugas las cuales son cosechadas por semana, teniendo un periodo de vida en los sistemas hidropónicos de un mes, siendo implementado y es completamente funcional.

La parte de monitoreo, supervisión y control de todo el sistema estará embebida en un microcontrolador en el cual estarán todos los algoritmos de programación para la correcta activación y puesta a punto del proyecto.

En el diseño e implementación se llevará a cabo los siguientes pasos:

- Comprensión del proceso a controlar.

- Redacción del listado de componentes necesarios para el producto final.
- Adquisición de circuitos electrónicos.
- Verificación y ensayo del funcionamiento del producto final.
- Instalación y puesta a punto del producto final.

Palabras clave: Comunicación Celular.



ABSTRACT

In the present thesis the design and implementation of a cellular communication system GPRS / GSM is presented, a system in which it has the capacity of monitoring, supervision and control using sensors indicating waterproof temperature, pH, humidity and ambient temperature through a mobile device of any brand and model, through short message services (SMS) through GSM technology, to a mobile device chosen by the user, which will receive text messages with the data obtained from the indicator sensors .

Indicator sensors will be used, wireless transmission modules for supervision in the control center of the census parameters.

The design of the GPRS / GSM cellular communication system for transmission of census data will work with the Wireless protocol with the radio spectrum in the Ultra high frequency UHF 300-3000 MHz band. In addition, an HC-12 module will be used in the 433 MHz band to make a redundant communication system in a control center located approximately 100 meters from the main board.

The monitoring and control stage will be carried out in the control center with the display of data recorded in an LCD module with a 20x4 character screen that is located approximately 100 meters away from the central panel of the project.

In order for the entire system to work, an architecture, hardware, software and communications have been designed and implemented, such as the programming of the sensors. For the choice of technologies, hardware and free software have been used as much as possible.

The mobile communication system has been implemented in a hydroponic system in which lettuces are grown which are harvested per week, having a life span in hydroponic systems for one month, being implemented and fully functional.

The part of monitoring, supervision and control of the whole system will be embedded in a microcontroller in which all the programming algorithms will be for the correct activation and tuning of the project.

In the design and implementation, the following steps will be carried out:

- Understanding of the process to be controlled.
- Writing the list of necessary components for the final product.

- Acquisition of electronic circuits.
- Verification and testing of the operation of the final product.
- Installation and tuning of the final product.

Keywords: Cellular Communication



CAPITULO I

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACION

1.1 Antecedentes de investigación

Desde inicios de los años 90 en Estados Unidos la Agricultura de precisión o también catalogada como nivel tecnológico en la agricultura; ha ido incorporando cada vez más, por el incesante avance de las tecnologías de Telecomunicaciones, es así que las redes de sensores inalámbricas combinadas con otras tecnologías (sistemas de posicionamiento global, imágenes aéreas y de satélites, sistemas de información geográfica, etc.) permiten estimar y evaluar el estado hídrico de los cultivos.

Además de entender los cambios que se producen en los mismos; a través del uso de computadoras, sensores, placas de microcontroladores como PICs, Arduino, Raspberry Pi y otras tecnologías para automatizar el manejo de suelos y cultivos hortícolas, hidropónicos, ganadería y forestación con ayuda de la electrónica.

En el mundo actual de la agroindustria, la hidroponía es una técnica de cultivo que permite la implementación de ciertas hortalizas que se cultivan en una cama de agua. Es así que en Cuenca y en la región del austro se han desarrollado algunos cultivos hidropónicos en casas, sobre todo con la lechuga. En Azogues se hizo un cultivo en una terraza (tercer piso); en Gualaceo también se desarrolló un cultivo que prácticamente estuvo suspendido en un balcón.

El uso de diferentes tecnologías tales como WIRELESS SENSOR NETWORKS acaparan cualquier actividad del hombre, incluyendo las diferentes formas de agricultura en la actualidad, lo cual permite al productor medir, analizar, y manejar la variabilidad dentro de los cultivos.

1.2 Identificación del Problema

En la actualidad la producción de vegetales ya no solo se desarrolla en tierra, y uno de los grandes inconvenientes para algunas zonas es la escasez de agua, la cual debe ser controlada si es que requerimos la siembra de algún vegetal, por lo que en los últimos años se desarrolla la técnica hidropónica que viene a ser el cultivo de vegetales de forma controlada tanto en agua como en nutrientes, controlando así el recurso hídrico de manera eficiente pues los

vegetales consumirán el agua con nutrientes que requieren y el resto será almacenado en tanque para en algún momento ser recargado con nuevos nutrientes y pase de nuevo al consumo.

Sabiendo esto el problema empieza en el trabajo de controlar para cultivar vegetales por hidroponía pues estos requerirán ciertas condiciones tanto para el agua como para el ambiente en el que crecerán, como son la temperatura de ambiente, temperatura del agua, pH, conductividad, entre otros son parámetros de crecimiento importantes, y el estar tomando lectura de todos toma tiempo pues los equipos de hidroponía son independientes uno del otro y en dichos equipos se debe controlar los parámetros y además de tomar la lectura de cada parámetro en caso de que alguno este fuera del rango permitido para el crecimiento de los vegetales se debe regular los parámetros lo más pronto posible pues afectaría en el crecimiento y en el peor de los casos la pérdida del producto vegetal que se desea generar.

1.3 Descripción del Problema

La empresa FAGSOL SAC cuenta con un sistema hidropónico en el que se cultivan lechugas las cuales son cosechadas por semana, teniendo un periodo de vida en los sistemas hidropónicos de un mes. Los sistemas hidropónicos son reactores NFT que constan básicamente de tubos y en dichos tubos crecerá la lechuga además de contar también de un tanque de suministro de agua a los tubos impulsado por una bomba. Cada cierto tiempo la bomba debe enviar agua a los tubos recirculando la que se encuentra en los mismos, pues no debe permanecer mucho tiempo el agua estancada, pues generaría problemas de crecimiento a las lechugas. El agua recirculada debe contar con nutrientes los cuales variaran el pH del agua en un rango permitido y estar a una temperatura para el crecimiento de las lechugas.

Siendo el problema la toma de lectura de los parámetros básicos (pH, temperatura del agua, humedad y temperatura de ambiente) en un tiempo reducido para poder corregirlos, tomar acción y para el normal desarrollo de las lechugas hasta cumplir su periodo de vida.

1.4 Justificación del problema

El sistema de hidroponía cuenta con un sistema completo como los canales de cultivo, bombas para la recirculación de agua, estanque colector de agua. La no supervisión, monitoreo y control de los parámetros censados pueden ser perjudiciales para la cosecha de las lechugas.

Actualmente el sistema cuenta con bombas para la recirculación de agua para el estanque colector de agua actual y están siendo activada de manera periódica por un temporizador digital para la recirculación de agua por los canales de cultivo y así el agua no está estancada ya que sería perjudicial, y podría haber pérdida del producto vegetal que se desea generar.

Actualmente la temperatura del agua del estanque colector se mide forma manual utilizando termómetro de mercurio al igual que la temperatura de ambiente y la medición del valor de pH del agua del estanque colector se realiza de forma manual utilizando cintas indicadoras de pH. Actualmente no se determina el valor de la humedad en el cultivo por hidroponía.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

- Realizar el diseño e implementación de un sistema de comunicación celular GSM utilizando sensores indicadores de temperatura impermeable, PH, humedad y temperatura de ambiente de un cultivo de lechugas por hidroponía en Arequipa para el monitoreo, supervisión de los datos mediante mensajes de texto SMS.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Monitorear y supervisar los datos censados en un centro de supervisión por medio de una pantalla LCD a través del desarrollo del Sistema Inalámbrico.
- Crear un centro de supervisión ubicado a 300 metros aproximadamente de la placa principal del proyecto y así poder visualizar los parámetros censados para el cuidado del cultivo por hidroponía.
- Seleccionar los protocolos de comunicación que permitan un canal bidireccional de información de los diferentes dispositivos.
- Integrar diferentes dispositivos electrónicos compatibles que permitan mayor información acerca del estado de un cultivo de lechugas por hidroponía.

1.6 Hipótesis

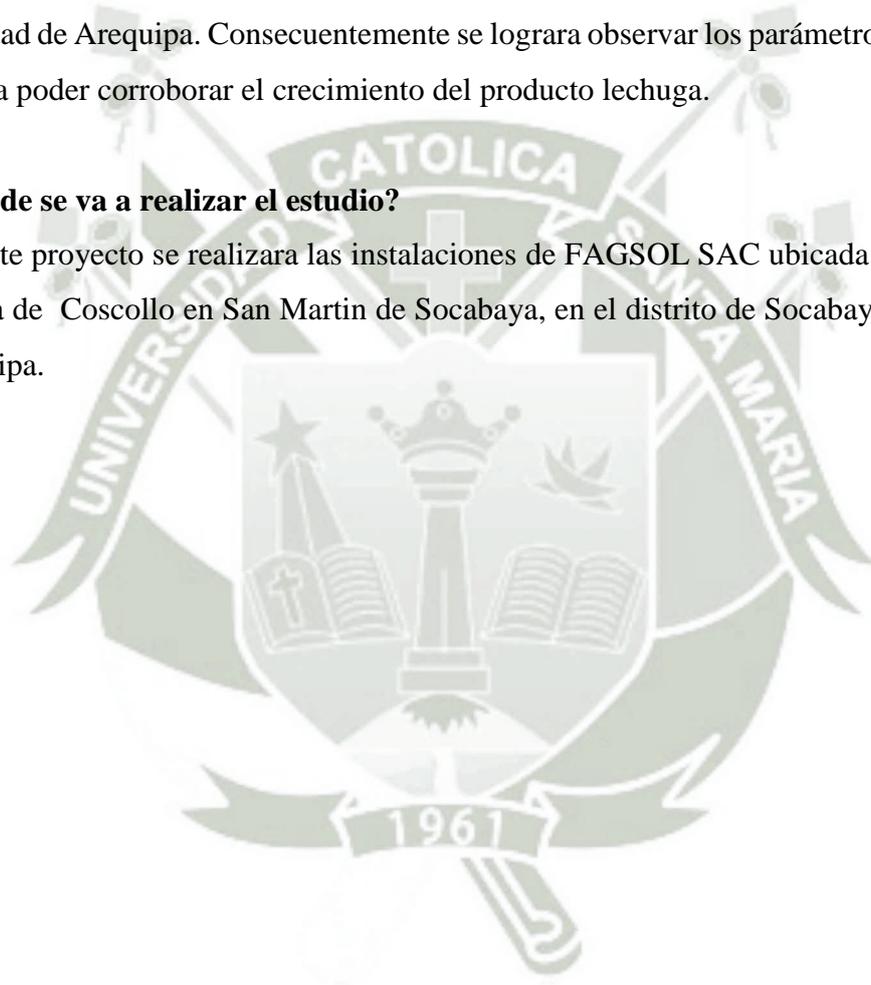
A través del sistema de comunicación celular GSM y los sensores de control de parámetros (pH, temperatura, humedad) se espera realizar un control de los parámetros censados del sistema para que los cultivos de lechuga se desarrollen con normalidad.

1.7 ¿Qué se quiere hacer?

Realizar el diseño e implementación de un sistema de comunicación celular GSM utilizando sensores para la medición de parámetros como temperatura impermeable, PH, temperatura y humedad de ambiente del cultivo de lechugas hidropónicas de la empresa FAGSOL SAC en la ciudad de Arequipa. Consecuentemente se lograra observar los parámetros en cualquier lugar para poder corroborar el crecimiento del producto lechuga.

1.8 ¿Dónde se va a realizar el estudio?

El presente proyecto se realizara las instalaciones de FAGSOL SAC ubicada al inicio de la Quebrada de Coscollo en San Martin de Socabaya, en el distrito de Socabaya de la ciudad de Arequipa.



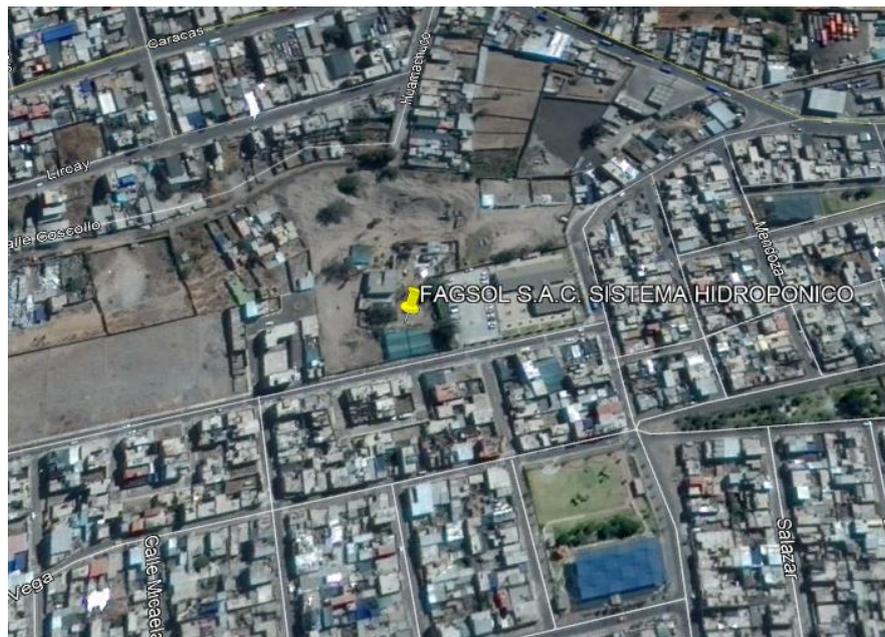


Figura 1.1. Ubicación del proyecto.

Fuente: Google Earth (2017)



Figura 1.2. Área de cultivo por hidroponía.

Fuente: Fagsol (2017)

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Hidroponía

Hidroponía, es un conjunto de técnicas que permite el cultivo de plantas en un medio libre de suelo. La hidroponía permite en estructuras simples o complejas producir plantas principalmente de tipo herbáceo aprovechando sitios o áreas como azoteas, suelos infértiles, terrenos escabrosos, invernaderos climatizados o no, etc. A partir de este concepto se desarrollaron técnicas que se apoyan en sustratos (medios que sostienen a la planta), o en sistemas con aportes de soluciones de nutrientes estáticos o circulantes, sin perder de vistas las necesidades de la planta como la temperatura, humedad, agua y nutrientes. La palabra hidroponía deriva del griego HIDRO (agua) y PONOS (labor o trabajo) lo cual significa literalmente trabajo en agua. Sin embargo, en la actualidad se utiliza para referirse al cultivo sin suelo. La hidroponía es una herramienta que permite el cultivo de plantas sin suelo, es decir sin tierra. Un cultivo hidropónico es un sistema aislado del suelo, utilizado para cultivar plantas cuyo crecimiento es posible gracias al suministro adecuado de los requerimientos hídriconutricionales, a través del agua y solución nutritiva. Con la técnica de cultivo sin suelo es posible obtener hortalizas de excelente calidad y sanidad, permitiendo un uso más eficiente del agua y los nutrientes. Basados en la experiencia, los rendimientos por unidad de área cultivada son altos debido a una mayor densidad, mayor productividad por planta y eficiencia en el uso de los recursos agua, luz y nutrientes. No es una metodología moderna para el cultivo de plantas, sino una técnica ancestral; en la antigüedad hubo culturas y civilizaciones que utilizaron esta metodología como medio de subsistencia. Generalmente asociamos esta forma de cultivo con grandes invernaderos para el cultivo de plantas y el empleo de la más compleja tecnología; sin embargo, los orígenes de la hidroponía fueron muy simples en su implementación. El desarrollo actual de la técnica de los cultivos hidropónicos, está basada en la utilización de mínimo espacio, mínimo consumo de agua y máxima producción y calidad (Beltrano & Gimenez).

La hidroponía es parte de los sistemas de producción llamados Cultivos sin Suelo. En estos sistemas el medio de crecimiento y/o soporte de la planta está constituido por sustancias de diverso origen, orgánico o inorgánico, inertes o no inertes es decir con tasa variable de aportes a la nutrición mineral de las plantas. Podemos ir desde sustancias como perlita, vermiculita o lana de roca, materiales que son consideradas propiamente inertes y donde la

nutrición de la planta es estrictamente externa, a medios orgánicos realizados con mezclas que incluyen turbas o materiales orgánicos como corteza de árboles picada, cáscara de arroz etc. que interfieren en la nutrición mineral de las plantas. Seguidamente se presenta una lista de materiales que pueden ser empleados como sustratos (Sylvia Burés 1997).

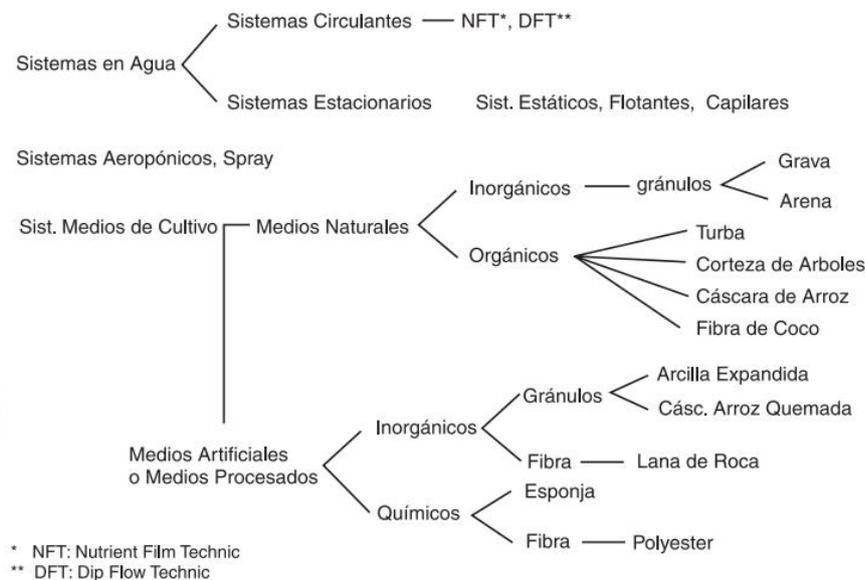


Figura 2.1. Sistemas hidropónicos.
Fuente.(OSAKA, 1998)

2.2 Técnica de la solución nutritiva recirculante (NFT)

El sistema de recirculación de solución nutritiva "NFT" -Nutrient Film Technique-, fue desarrollado en el Glasshouse Crop Research Institute, Inglaterra, en la década de los sesenta. El principio de este sistema hidropónico consiste en la circulación constante de una lámina fina de solución nutritiva que pasa a través de las raíces del cultivo, no existiendo pérdida o salida al exterior de la solución nutritiva, por lo que se constituye en un sistema de tipo cerrado. A diferencia del sistema propuesto para las huertas hidropónicas populares, las plantas se cultivan en ausencia de sustrato, por lo cual las plantas se encuentran suspendidas en canales de cultivo con o sin un contenedor de soporte. Otra característica del sistema, es la necesidad de contar con una pendiente o desnivel de la superficie de cultivo, ya que por medio de ésta, se posibilita la recirculación de la solución nutritiva. (Carrasco & Izquierdo, 1996)

2.3 Componentes y materiales del sistema NFT.

El sistema "NFT" se constituye de cinco elementos básicos:

a) Estanque colector.

El estanque colector tiene por función almacenar la solución nutritiva a través del período de cultivo. Existe una gran gama de tipos de contenedores que pueden utilizarse como estanques colectores de solución nutritiva. Sin embargo, su elección debiera estar basada en el tipo de material.

Tamaño y aislación. Si se desconoce la reacción del material con la solución nutritiva, es necesario previamente realizar alguna prueba para evaluar la reacción química existente entre ambos. En otras palabras, es vital observar si ocurre algún tipo de corrosión del estanque y cambio de color de éste o la solución. Si así ocurriera, ese estanque no debiera utilizarse. (Carrasco & Izquierdo, 1996).

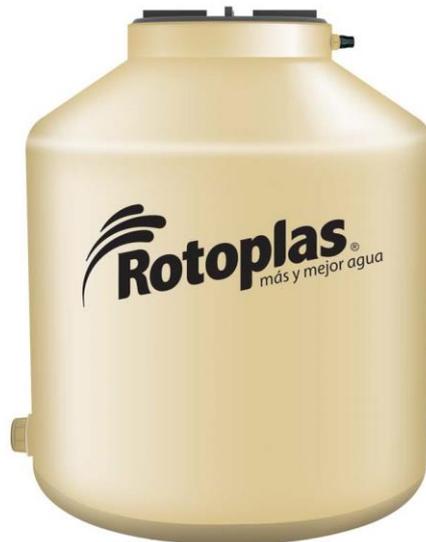


Figura 2.2. Prototipo de estanque para los NFT.
Fuente: Rotoplas (2017)

b) Canales de cultivo.

El sistema "NFT" se caracteriza por no utilizar ningún tipo de sustrato, sino por el contrario, es un sistema estrictamente hidropónico, o sea, se cultiva directamente en agua con sales minerales disueltas. Así, al no contar con un medio sólido de sostén, éste es brindado a las plantas por el tipo de contenedor utilizado como también por el canal de cultivo, el cual permite la sujeción de las plantas.

La segunda función de los canales y de igual importancia a la anterior, es permitir que la solución nutritiva pase en forma expedita a través de ellos. Así, es recomendable

utilizar canales de sección rectangular, ya que ésta permite mantener la fina lámina de solución circulante en la sección transversal a lo largo del canal. También se requiere que la superficie de los canales sea lisa para facilitar el rápido desplazamiento de la solución a través del canal de cultivo. (Carrasco & Izquierdo, 1996)



Figura 2.3. Tubos para canales de NFT.
Fuente: Elaboración propia-fuente

c) Bomba.

Corresponde a uno de los componentes claves del sistema, el cual requiere una preocupación especial no sólo en cuanto a su elección, sino también a su operación. Su función es impulsar permanentemente la solución nutritiva desde el estanque colector hasta la parte alta de los canales de cultivo. Por ello, dependiendo de la magnitud del módulo de producción y grado de supervisión debieran considerarse dispositivos de alarma que indiquen una interrupción no deseada. Una detención prolongada puede traer serios inconvenientes que inclusive causarían la pérdida total de la producción. (Carrasco & Izquierdo, 1996)



Figura 2.4. Bomba de agua para el sistema "NFT".
Fuente: Sodimac (2017)

d) Red de distribución.

La solución nutritiva es distribuida a través de una red compuesta por tuberías y mangueras de PVC o goma desde la bomba impulsora hacia la parte superior de los canales de cultivo. (Carrasco & Izquierdo, 1996)

e) Tubería colectora.

La tubería colectora recoge la solución nutritiva desde los canales de cultivo y la lleva de retorno hacia el estanque. La localización de esta tubería se ubica frente y en un nivel más bajo que la altura inferior de los canales, de esta forma la solución nutritiva desciende por gravedad, oxigenándose. Además, esta tubería se encuentra en pendiente descendente hacia el estanque colector. Al final de ésta, se requiere colocar un codo de PVC recubierto con material aislante (polietileno) para facilitar su caída. (Carrasco & Izquierdo, 1996)

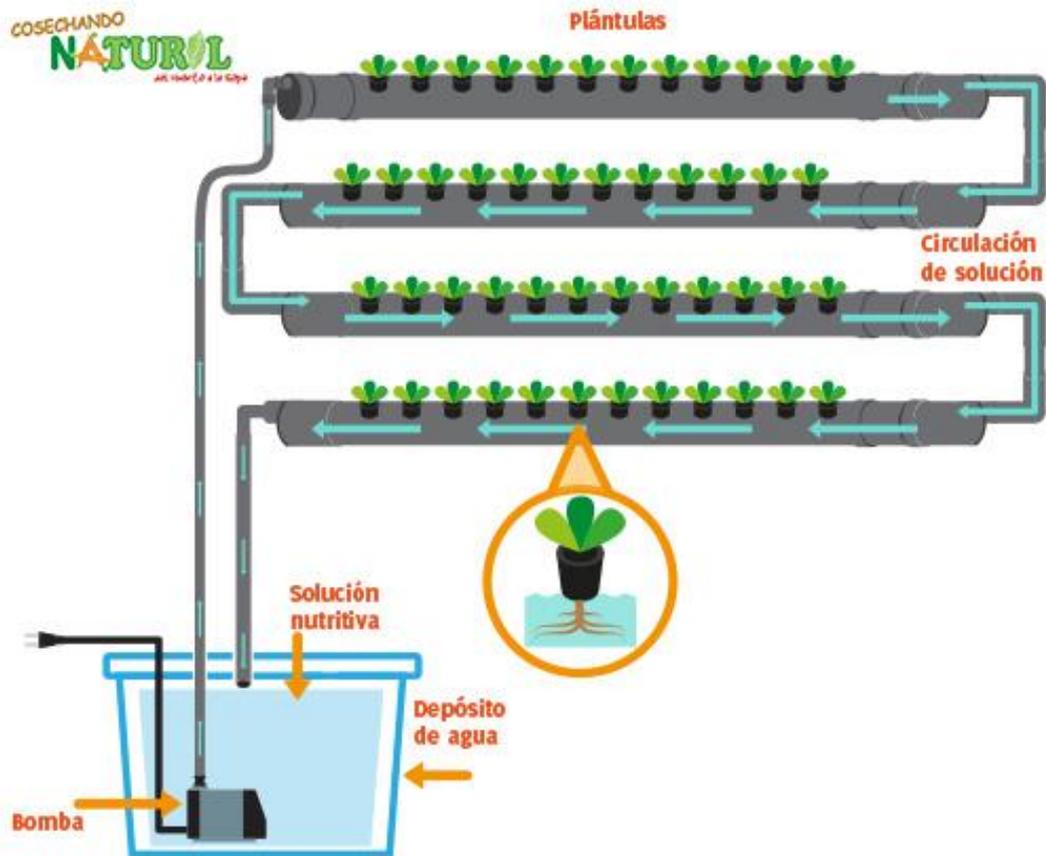


Figura 2.5. Sistema hidropónico "NFT"
Fuente: (Carrasco & Izquierdo, 1996)

2.4 Variables influyentes en el crecimiento de las lechugas hidropónicas.

2.4.1 Acides – Basicidad (pH)

El potencial Hidrógeno (pH) es una forma convencional y muy conveniente de expresar según una escala numérica adimensional, el grado de acidez o basicidad de soluciones acuosas diluidas. Es en realidad una medida de la actividad de los iones hidrógeno en una solución electrolítica. Y los métodos para medir el pH.

El pH de una solución puede medirse de distintas maneras y usando distintos instrumentos. Entre ellos encontramos:

- **Papel indicador:** También conocido como papel tornasol, es el método más barato e inexacto respecto a los demás. El papel está impregnado con indicador universal que al ser introducido en la solución a analizar, toma un color diferente que luego debe compararse con un diagrama de colores para obtener el valor aproximado de pH de la solución. El más conocido es el papel tornasol o papel de litmus.

- **Uso de sustancias químicas:** Estas sustancias adquieren un color distinto a cada valor diferente de pH. Es por ello que estas sustancias se agregan a las soluciones de pH desconocido para luego compararlas con soluciones estándar de pH conocido que también han sido afectadas por este indicador químico. Se usan frecuentemente el naranja de metilo y la fenolftaleína.

- **pH-metro:** Es un sensor que realiza internamente una medida de la diferencia de potencial entre dos electrodos, uno de referencia (generalmente 7) y otro de medida (externo). Por lo tanto, se tiene un preciso valor de diferencia de potencial y con un amplificador se puede obtener la medida exacta del valor de pH de una solución. (Chang, 2016)

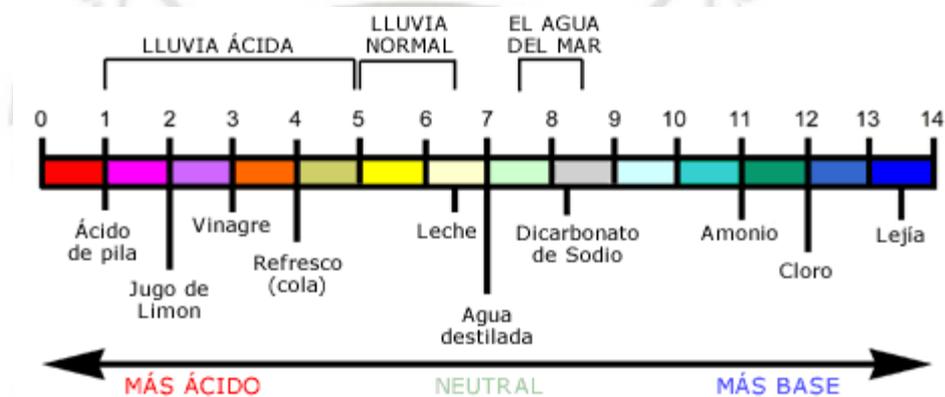


Figura 2.6. Escala de pH.
Fuente: (Chang, 2016)

2.4.2 Temperatura.

La temperatura no es una medida de "calor en el cuerpo", la temperatura es una magnitud física que nos indica cuantitativamente, el estado de "caliente" o "frío" de un cuerpo, se expresa mediante un número asociado convencionalmente al cuerpo. Realmente, en la actualidad la temperatura se considera como una medida de la mayor o menor agitación de las moléculas o átomos que constituyen un cuerpo. Para cuantificarla se relaciona la energía cinética promedio de las moléculas, de modo que una temperatura elevada corresponde una mayor energía cinética promedio de las moléculas, debido a una mayor agitación molecular. (Peña, 2007)

2.4.3 Humedad Atmosférica

El aire en la atmósfera se considera normalmente como una mezcla de dos componentes: aire seco y vapor de agua. La capacidad de la atmósfera para recibir vapor de agua se

relaciona con los conceptos de humedad absoluta, que corresponde a la cantidad de agua presente en el aire por unidad de volumen de aire, y la humedad relativa que es la razón entre la humedad absoluta y la cantidad máxima de vapor de agua que admite el aire por unidad de volumen. La humedad relativa se mide en tanto por ciento y está normalizada de forma que la humedad relativa máxima posible es el 100%. Cuando la humedad alcanza el valor del 100%, se dice que el aire está saturado, y el exceso de vapor se condensa para convertirse en gotitas de niebla o nubes. El fenómeno del rocío en las mañanas de invierno se debe a que la humedad relativa del aire ha alcanzado el 100% y el aire no admite más vapor de agua. También se alcanza la saturación cuando usamos agua muy caliente en un recinto cerrado como por ejemplo en un baño. En este caso el agua caliente se evapora fácilmente y el aire de la habitación alcanza con rapidez el 100% de humedad relativa. (Meruane & Garreaud, 2015)

2.4.4 Radiación Ultravioleta

Se denomina radiación ultravioleta a la energía electromagnética emitida a longitudes de onda menores que la correspondiente a la visible por el ojo humano, pero mayor que la que caracteriza a los rayos X, esto es, entre 100 y 360 nm. La radiación de longitud de onda entre 100 y 200 nm se conoce como ultravioleta lejano o de vacío. Comúnmente proviene del sol o de lámparas de descarga gaseosa. La radiación ultravioleta es tan energética, que su absorción por parte de átomos y moléculas produce rupturas de uniones y formación de iones (reacciones fotoquímicas), además de excitación electrónica. La exposición prolongada de la piel humana a los rayos ultravioletas predispone al desarrollo de cáncer de piel.

El oxígeno y el nitrógeno de la atmósfera absorben virtualmente la totalidad de la radiación ultravioleta lejana proveniente del sol, transformando su enorme energía en reacciones fotoquímicas e impidiendo, en consecuencia, que llegue a la superficie terrestre, donde destruiría las moléculas complejas, y por lo tanto imposibilitaría la existencia de vida.

El oxígeno y el ozono de la estratosfera actúan como filtro protector contra la radiación ultravioleta, no mucho menos dañina, de 200 a 300 nm de longitud de onda. (Volkheimer, Scafati, & Melendi, 2003).

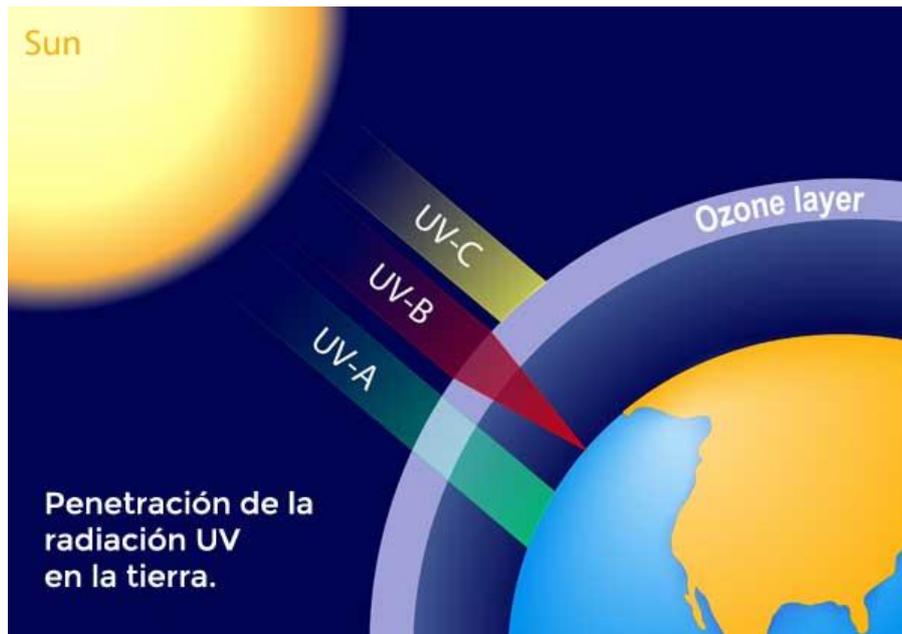


Figura 2.7. Tipos de Radiación Ultravioleta.
Fuente: (Volkheimer, Scafati, & Melendi, 2003).

2.5 Funcionamiento de la Telefonía Móvil Celular

La esencia de una red celular reside en el uso de múltiples transmisores de baja potencia, del orden de 100 W o menos (la potencia real radiada es típicamente muy inferior a esos valores máximos que serían alcanzables de forma teórica sólo en condiciones extremas de funcionamiento, pues el nivel real de potencia de emisión son los valores mostrados en la tabla 2.1 en las denominadas macroceldas 1 W y microceldas 0.1 W). Dado que el rango de un transmisor de estas características es pequeño, el área debe ser dividida en celdas, cada una de las cuales dispone de su propia antena. A cada celda se le asigna una banda de frecuencias y una estación base (compuesta por un transmisor, un receptor y una unidad de control) que le presta servicio. Las celdas adyacentes reciben una asignación distinta de frecuencias, evitando así la aparición de interferencias o diafonía. No obstante, las celdas suficientemente alejadas entre sí pueden emplear la misma banda de frecuencias. (Stallings, 2012)

La primera decisión de diseño que se debe tomar es la forma de las celdas que han de cubrir el área. Una matriz de celdas cuadradas sería la disposición más sencilla de definir (véase Figura 2.8a). Sin embargo, esta geometría no es la más idónea. Un patrón hexagonal proporciona antenas equidistantes (véase Figura 2.8). El radio de un hexágono se define como el radio de la circunferencia que lo circunscribe (equivalentemente, la distancia desde

el centro a cada vértice, que es también igual a la longitud de un lado del hexágono).
(Stallings, 2012)

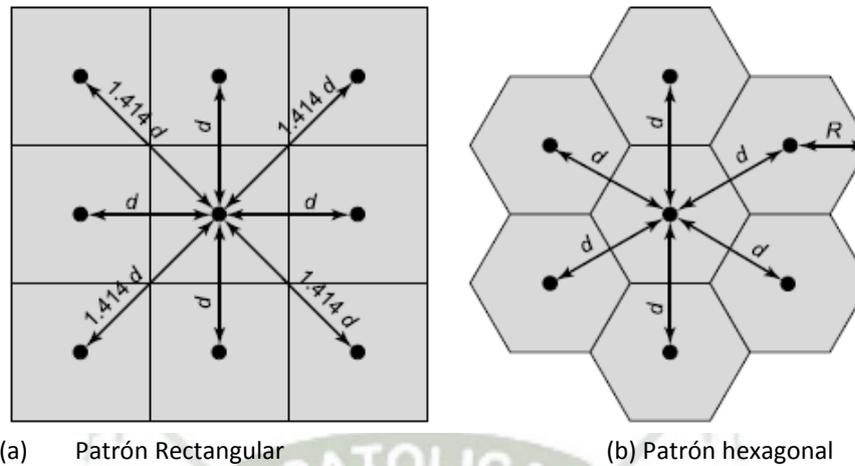


Figura 2.8. Patrón de radio.

Fuente: (Stallings, 2012)

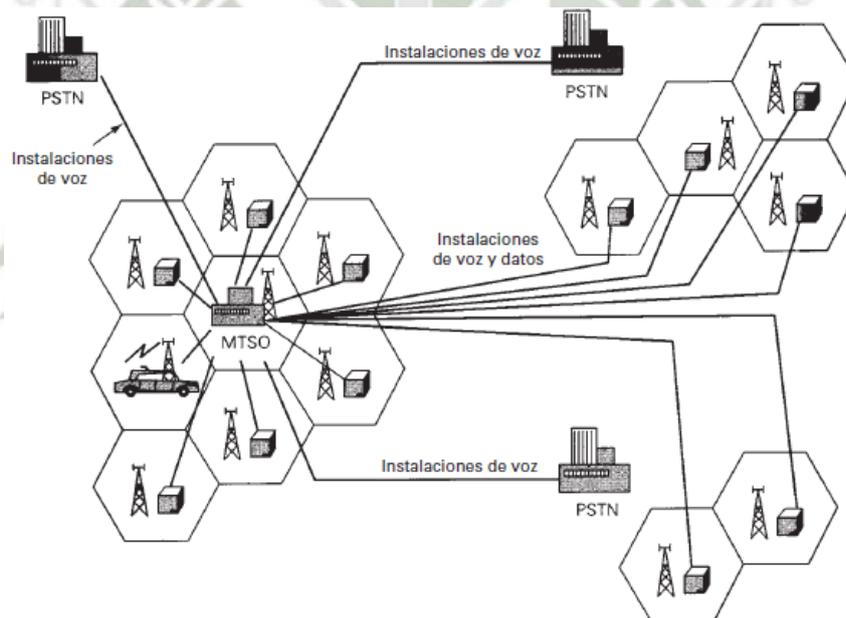


Figura 2.9. Sistema telefónico celular simplificado

Fuente: (Stallings, 2012)

La cuestión esencial es determinar cuántas celdas debe haber entre dos celdas que utilizan la misma frecuencia para que estas dos no interfieran entre sí. Existen varios patrones de reutilización de frecuencias. Si el patrón consta de N celdas y a cada celda se le asigna el mismo número de frecuencias, cada celda puede disponer de K/N frecuencias, donde K es el número total de frecuencias asignadas al sistema. Para AMPS, $K=395$ y $N=7$ es el patrón más pequeño que puede proporcionar un aislamiento suficiente entre dos usos de la misma

frecuencia. Esto implica que podrá haber, en media, un máximo de 57 frecuencias por celda. (Stallings, 2012)

a) Aumento de la capacidad

A medida que más usuarios utilizan el sistema con el tiempo, el tráfico puede crecer hasta el punto de que no haya suficientes frecuencias asignadas a una celda para gestionar sus llamadas. Para hacer frente a esta situación se han utilizado una serie de aproximaciones, entre las cuales citamos las siguientes:

b) Adición de nuevos canales:

Cuando un sistema se despliega en una región, lo común es que no todos los canales sean utilizados, de forma que el crecimiento y la expansión pueden ser gestionados ordenadamente mediante la adición de nuevos canales.

c) Uso de frecuencias prestadas:

En el caso más simple, las celdas congestionadas pueden tomar prestadas frecuencias de las celdas adyacentes. Las frecuencias pueden también ser asignadas a las celdas dinámicamente.

d) División de celdas:

La distribución del tráfico y de las características topográficas no son uniformes en la práctica. Este hecho puede utilizarse para conseguir un aumento de la capacidad. Las celdas en zonas de alto uso pueden ser divididas en celdas más pequeñas. Generalmente, las celdas originales tienen un tamaño de entre 6,5 y 13 km, pudiendo ser divididas las más pequeñas. Sin embargo, las celdas de 1,5 km se encuentran cerca del límite práctico de tamaño como solución general (no obstante, véase posteriormente la discusión sobre microceldas). El uso de celdas más pequeñas implica que el nivel de potencia debe ser reducido con objeto de mantener la señal dentro de la celda. Asimismo, a medida que el usuario se mueve cambia de una celda a otra, lo que requiere traspasar la llamada de un transceptor base a otro. Este proceso se denomina traspaso (handoff). A medida que las celdas son más pequeñas, estos traspasos son más frecuentes. La Figura 2.10 indica esquemáticamente cómo pueden ser divididas las celdas para proporcionar más capacidad. Una reducción del radio en un factor F reduce el área de cobertura e incrementa el número de estaciones base que son necesarias en un factor F^2 .

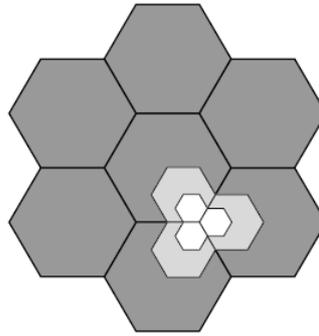


Figura 2.10. División de celdas.
Fuente: (Stallings, 2012)

e) Sectorización de celdas:

Con esta técnica, una celda se divide en una serie de sectores en forma de cuña, cada uno de los cuales dispone de su propio conjunto de canales. Se emplean generalmente 3 o 6 sectores por celda, asignándose a cada uno de ellos un subconjunto distinto de los canales de la celda. En la estación base se emplean antenas direccionales enfocadas hacia cada sector.

f) Microceldas:

Cada disminución del tamaño de una celda viene acompañada por una reducción de los niveles de potencia radiada de la estación base y de las unidades móviles. Las microceldas son útiles en las calles de las ciudades de zonas congestionadas, a lo largo de las autopistas y dentro de grandes edificios públicos. (Stallings, 2012)

En la Tabla 2.1 se sugieren parámetros típicos para las celdas tradicionales, denominadas macroceldas, así como para las microceldas con la tecnología de la que se dispone actualmente. Como se indica, el uso de celdas más pequeñas permite utilizar menor potencia y proporciona condiciones de propagación superiores.

Tabla 2.1. *Parámetros típicos para macroceldas y microceldas*

	Macrocela	Microcela
Radio de la celda	1 a 20 km	0.1 a 1 km
Potencia de transmisión	1 a 10 W	0.1 a 1 W
Variación media del retardo de propagación	0.1 a 10 us	10 a 100 ns
Velocidad máxima	0.3 Mbps	1.0 Mbps

(Stallings, 2012)

2.6 Telemetría

2.6.1 Definición

En la presente tesis haremos uso de la telemetría como uno de los medios de solución ante el problema del censado de los parámetros. Para ello es importante comprender el término Telemetría, que deriva del griego “Tele” que significa remoto y “metro” que significa medida. Las variables censadas que son medidas en cierto lugar son tratadas como señales, las cuales requieren ser procesadas antes de ser transmitidas a distancia, ya sea usando un enlace cableado, aire (neumática) o un enlace de radio frecuencia (aire), y luego recibida en el receptor termina por direccionarse, almacenarse y visualizarse. Esto es a lo que se denomina un Sistema de Telemetría (Godinez Tello, 2011)

En la figura 2.11, se muestra el diagrama de bloques tradicional de un sistema de transmisión de datos.

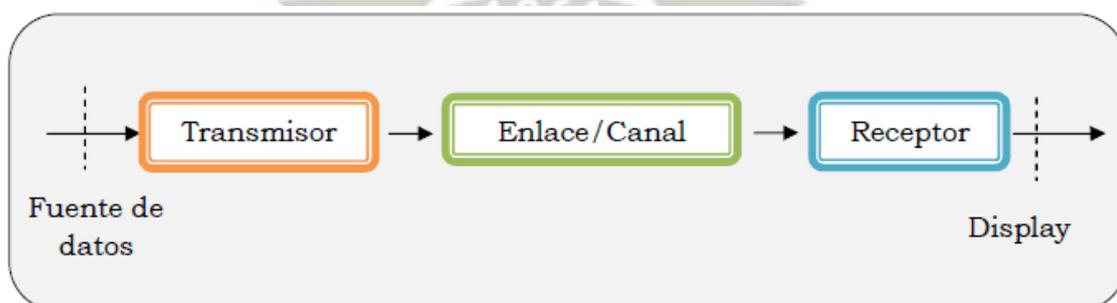


Figura 2.11. Diagrama de bloques de un sistema de transmisión de datos
Fuente: (Godinez Tello, 2011)

El propósito de un sistema de telemetría consiste en recoger datos que son capturados en un puesto remoto y transmitirlos a otro donde puedan ser evaluados. Los sistemas de telemetría son un conjunto especial de sistemas de comunicaciones.

En la figura 2.12, se muestra el esquema en bloques de un sistema de telemetría.

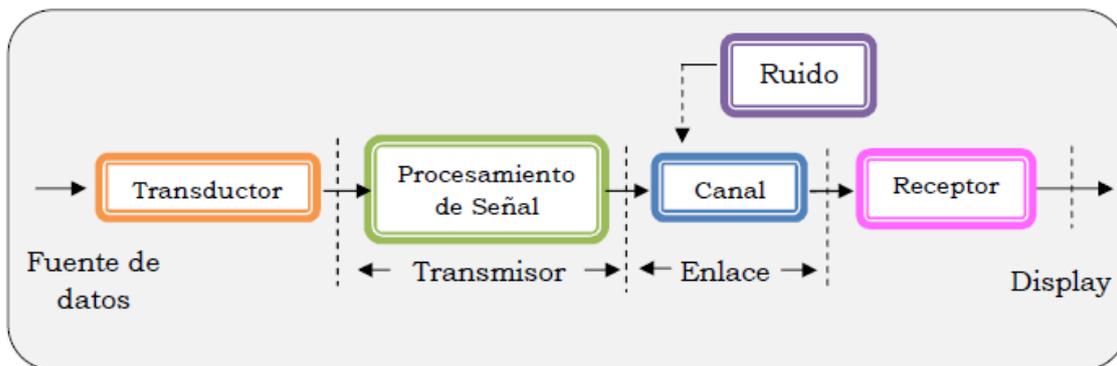


Figura 2.12. Esquema general de bloques de un sistema de Telemetría
Fuente: (Godinez Tello, 2011)

2.6.2 Estructura de un sistema de telemetría

La estructura general de los sistemas de telemetría mostrada en la figura 2.13 se compone de lo siguiente:

1. Sistema de recolección de datos.
2. Sistemas de multiplexado:
 - a) Sistema de Multiplexado por División de Frecuencia.
 - b) Sistema de Multiplexado por División de Tiempo.
 - c) Sistema híbrido, el cual es la combinación del Multiplexado por División de Tiempo y otro de Frecuencia.
3. Modulador, transmisor y antena.
4. Canal de comunicación.
5. Antena, receptor de radio frecuencia, amplificador de frecuencia intermedia, demodulador.
6. Demultiplexador, sistema de Multiplexado por División de Tiempo o Multiplexado por División de Frecuencia o sistema híbrido.
7. Procesamiento de datos.

(Godinez Tello, 2011)

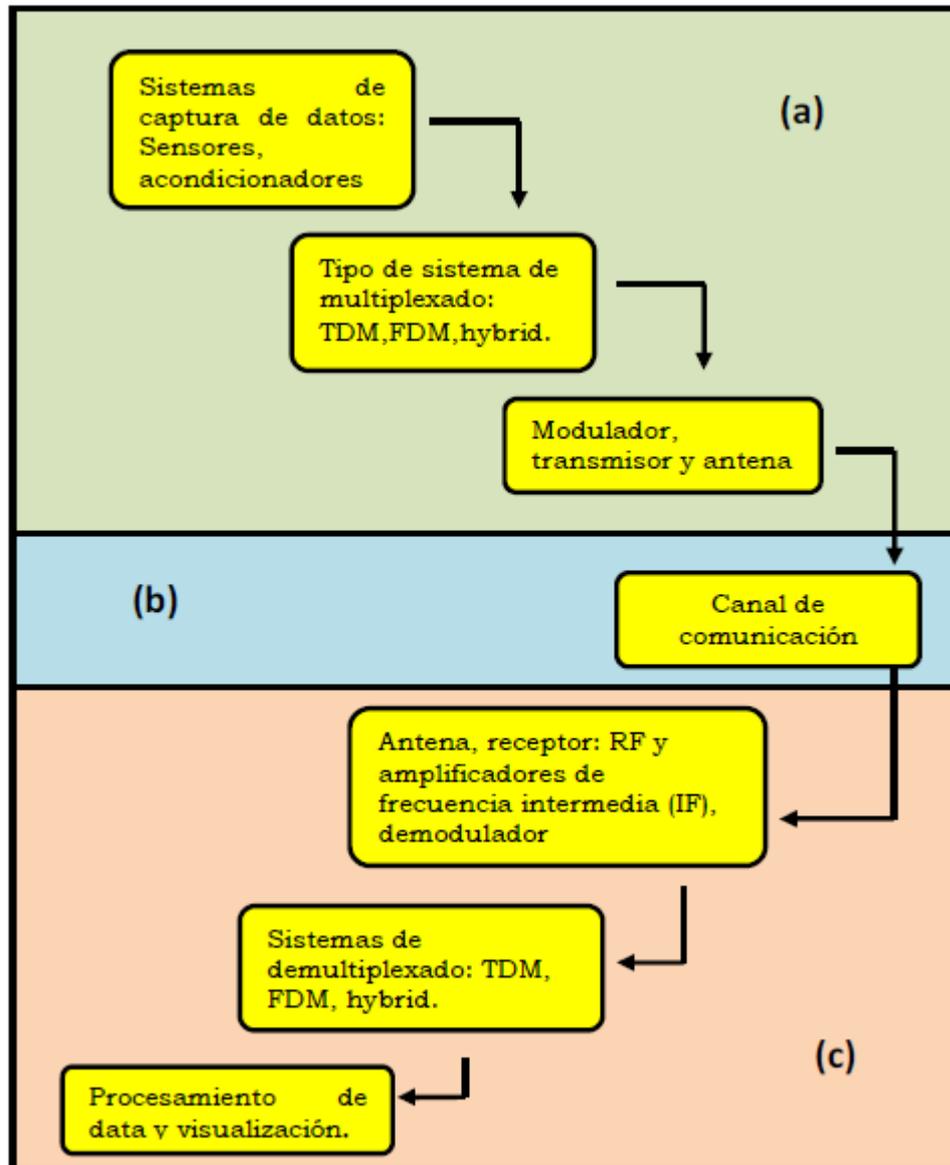


Figura 2.13. Esquema de un sistema de telemetría: (a) Captura y transmisión de datos (b) Medio de Transmisión (c) Equipo receptor de monitoreo
Fuente: (Godinez Tello, 2011)

También se puede decir que la Telemetría es una técnica automatizada de las comunicaciones con la ayuda de que las mediciones y recopilación de datos se realizan en lugares remotos y de transmisión para la vigilancia. Esta técnica utiliza comúnmente transmisión inalámbrica, aunque original de los sistemas de transmisión utilizados por cable. Los usos más importantes de telemetría han sido la recopilación de datos del clima, supervisión de plantas de generación de energía y hacer el seguimiento de vuelos espaciales tripulados y no tripulados.

Un sistema de telemetría normalmente consiste de un transductor como un dispositivo de entrada, un medio de transmisión en forma de líneas de cable o las ondas de radio,

dispositivos de procesamiento de señales, y dispositivos de grabación o visualización de datos.

El transductor convierte una magnitud física como la temperatura, presión o vibraciones en una señal eléctrica correspondiente, que es transmitida a una distancia a efectos de medición y registro; En el que se pueden hacer diferentes desarrollos. (Bedoya Giraldo, Salazar Giraldo, & Muñoz Lozano , 2013)

En la mayoría de situaciones de control industrial, el transductor de medición y el dispositivo corrector final están en la misma zona. Hay aplicaciones ocasionales en las que el valor medido debe ser transmitido una distancia bastante grande, tal vez varios cientos de pies o más. En otros casos, por ejemplo en la distribución de potencia eléctrica, la medición debe ser transmitida muchas millas de regreso al controlador. Cuando se requiere enviar una medición a una gran distancia, por alambre o por fibra óptica, no puede mantenerse en su forma analógica original. El ruido y la degradación de la señal a través de distancias grandes debilitan la integridad de los voltajes analógicos.

En cambio, el voltaje original debe ser convertido a alguna forma de modulación de pulso o bien, debe ser convertido a un valor digitalmente codificado y transmitido bit por bit. La *telemetría* es la tecnología de cambio de una medición analógica a una de estas dos formas, transmitiendo la forma modificada a través de una gran distancia y luego reconvirtiendo la información recibida a analógica. (Maloney, 1997).

2.7 Evolución de la telefonía celular

La telefonía móvil se divide en dos partes bien diferenciadas, los teléfonos móviles o equipos terminales a un lado, y al otro toda la red que permite interconectarlos transmitiendo la información.

Como ocurre en un gran número de campos, no es sino en situaciones de conflicto donde se llevan a cabo los avances más significativos. Durante la segunda guerra mundial, la empresa norteamericana Motorola lanzó al mercado su primer modelo de Handie Talkie, el H12-16, dispositivo basado en la transmisión de información mediante ondas de radio que trabajaba en el espectro de 550MHz y que supuso una revolución en las comunicaciones.

Basados en estos equipos en los años 50 comenzaron a desarrollarse nuevos aparatos para la comunicación a distancia, conocidos como Walkie Talkie, destinados sobre todo a su utilización por los servicios públicos, tales como taxis, ambulancias, policía o bomberos, e instalados en sus vehículos dadas las grandes dimensiones de estos artefactos.

La red de radio celular como concepto se inventó en 1947 en los laboratorios Bell, en la empresa norteamericana AT&T, donde se propuso integrar estos aparatos en los coches de policía. Sin embargo, la invención del teléfono móvil como tal data de 1973. Se considera a Martin Cooper como el inventor del primer móvil no asociado a un vehículo.

El 3 de Abril del año 1973, Cooper, que era empleado de Motorola, realizó la primera llamada con un móvil en la historia. El receptor de esta primera llamada fue su rival en los laboratorios Bell, John Engel. Seis años más tarde, en 1979, se puso a la venta el primer teléfono comercial por parte del gigante japonés de las telecomunicaciones, NTT, mientras que no fue hasta 1983 cuando en Chicago, Washington D.C. y Baltimore se dan los primeros lanzamientos de sistemas comerciales de telefonía celular en Estados Unidos con los resultados del proyecto DynaTAC 8000X, que es presentado oficialmente en 1984. El DynaTAC 8000X, en la figura 1, con pantalla LED y con cerca de 1 kg de peso, tenía un tamaño de 33,02 x 4,445 x 8,89 centímetros y una autonomía de una hora de comunicación y ocho horas en stand-by. (Díaz, 2013)



Figura 2.14. Modelo DynaTAC 8000X
(Fuente: Techfresh)

2.7.1 Primera Generación

Encontramos ya aquí los primeros teléfonos móviles propiamente dichos, caracterizados por su gran tamaño y peso, y su funcionamiento totalmente analógico. Surgidos a partir de 1973, su naturaleza analógica traía consigo una serie de inconvenientes, tales como que solo podían ser utilizados para la transmisión de voz (el uso de mensajería instantánea era algo solo visible en un futuro “muy lejano”) o su baja seguridad, la cual hacía posible a una persona escuchar llamadas ajenas con un simple sintonizador de radio o, incluso hacer uso de las frecuencias cargando el importe de las llamadas a otras personas. (Díaz, 2013)

AMPS (Advanced Mobile Phone System). Se trata de un sistema de comunicación celular analógica concebido para móviles de primera generación y desarrollado a comienzos de los 80 por los laboratorios Bell, y que proporciona una cobertura a nivel nacional, mucho más extensa incluso que la ofrecida por las redes digitales (aunque con la desventaja ya mencionada de que solo puede ser utilizada para transmitir voz). Su uso es muy común en su país de origen (en el cual sigue siendo muy utilizado tanto en su versión analógica, como en la digital), aunque también se extendió con ligeras modificaciones a otros países tales como Inglaterra (TACS y ETACS) o Japón (MCS-L1 ó JTAC). AMPS consta de 832 canales dobles de subida-bajada, utilizando cada uno de ellos un ancho de 30KHz, abarcando un espectro de frecuencias que va desde los 800MHz hasta los 900MHz (la mitad del espectro se utiliza para subida y la otra mitad para bajada; algunas de las frecuencias son reservadas para funciones de control y gestión de la red). Se introduce también con AMPS el concepto de “Handover”, consistente en cambiar de una celda de cobertura a otra cuando los niveles de señal (y la configuración de los equipos) así lo exijan. Este concepto se verá más adelante con profundidad dado que una parte de la parametrización está orientada al correcto funcionamiento de los distintos tipos de handover. AMPS dejaba pendiente dos cuestiones muy importantes. Por un lado solucionar la coexistencia de varios estándares, y por otro la integración de nuevos servicios que complementarían al mero tráfico de voz. Con estos precedentes se llegaba a la segunda generación de telefonía móvil. (Díaz, 2013)

La calidad de los enlaces era muy baja, tenían baja velocidad (2400 bauds). En cuanto a la transferencia entre celdas, era muy imprecisa ya que contaban con una baja capacidad (Basadas en FDMA, Frequency Division Multiple Access) y, además, la seguridad no existía. La tecnología predominante de esta generación es AMPS (Advanced Mobile PhoneSystem). (Bedoya Giraldo, Salazar Giraldo, & Muñoz Lozano , 2013)

2.7.2 Segunda generación

Al contrario de lo que pasa en otras generaciones, la denominada “segunda generación” no es un estándar concreto, sino que marca el paso de la telefonía analógica a la digital, que permitió, mediante la introducción de una serie de protocolos, la mejora del manejo de llamadas, más enlaces simultáneos en el mismo ancho de banda y la integración de otros servicios adicionales al de la voz, de entre los que destaca el Servicio de Mensajes Cortos o SMS (Short Message Service). Estos protocolos fueron implementados por diversas compañías, siendo este hecho el origen de uno de los principales problemas de esta generación: la incompatibilidad entre protocolos. Debido a esto, el radio de utilización del teléfono quedaba limitado al área en el que su compañía le diera soporte. (Díaz, 2013)

EL sistema 2G utiliza protocolos de codificación más sofisticados y se emplea en los sistemas de telefonía celular actuales. Las tecnologías predominantes son: GSM (Global System for Mobile Communications); IS-136 (conocido también como TIA/EIA136 o ANSI-136) y CDMA (Code Division Multiple Access) y PDC (Personal Digital Communications), éste último utilizado en Japón. (Bedoya Giraldo, Salazar Giraldo, & Muñoz Lozano, 2013)

a) GSM (Global System for Mobile Communications)

Basado en TDMA (Time Division Multiple Access – Acceso Múltiple por División en el Tiempo) se trata del protocolo más característico de la 2G, ya que además se trata de un estándar desarrollado por y para todas las regiones del mundo. Aunque predomina de manera más marcada en Europa, se podría decir que también es el más utilizado a nivel mundial (aproximadamente por un 85% de la población). Su funcionamiento se sustenta sobre una compleja base de canales lógicos que permiten tanto transmisión de voz como de datos. El rango de frecuencias utilizado varía, debido sobre todo al país del que estemos hablando, dando lugar a distintos tipos de protocolos GSM: • GSM-1800: sistema celular GSM que funciona en la banda de frecuencias 1800 MHz. Utilizado principalmente en zonas urbanas de Europa. • GSM-1900: sistema celular GSM que funciona en la banda de frecuencias 1900 MHz. Utilizado principalmente en zonas urbanas de Estados Unidos (ya que las otras frecuencias disponibles se utilizan con fines militares), Canadá y Latinoamérica junto con la modalidad GSM-850. (Díaz, 2013)

b) CDMA (Code Division Multiple Access)

Sistema de acceso múltiple muy utilizado en comunicaciones tanto móviles como por radio en general. Ese sistema permite que un elevado número de comunicaciones simultáneas, ya sean de voz o de datos indistintamente, compartan el mismo medio de comunicación asignándoles códigos únicos y ortogonales entre sí dentro del canal. El estándar norteamericano IS-95 (CDMA One CDMA One CDMA One) está basado en esta idea, y fue empleado para transmisión de voz, señalización y datos (esto último de forma muy limitada). No llegó a popularizarse en Europa. (Díaz, 2013)

2.7.3 Generación 2.5

Generación de Transición (2.5G): Por no tener los medios ni la tecnología para “lanzarse” de lleno a la siguiente etapa es que surge este periodo en el que se incorporan nuevos sistemas como el EMS y el MMS (como mejoras del SMS) y WAP. La velocidad necesaria para brindar estos servicios la proporcionaron las nuevas tecnologías GPRS (hasta 114 Kbps) y EDGE (hasta 384 Kbps).

GPRS (General Packet Radio Service) es una evolución del sistema de comunicaciones GSM. Proporciona mayores velocidades y prestaciones en el acceso móvil al servicio de datos e internet. Localiza dinámicamente los canales de radio a cada usuario. GPRS permite tasas de 159 kbps. Soporta internetworking con redes IP y X.25. Soporta tráfico intermitente y a ráfagas. (Estrada Jimenez & Reinoso Chisaguano, 2009)

a) EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution - Tasas de Datos Mejoradas para la evolución de GSM)

Se considera una evolución de GPRS, y funciona sobre cualquier red GSM que posea GPRS. Con EDGE se consigue triplicar la capacidad a la hora de transportar datos con respecto a GPRS, la posibilidad de aumentar el número de usuarios de una operadora, o añadir capacidad extra al servicio de llamadas de voz. Se utilizará la misma estructura de trama TDMA (Time Division Multiple Access – Acceso Múltiple por División en el Tiempo), mismo canal lógico y mismo ancho de portadora (200KHz) que para el estándar GSM, lo que permite mantener intacto el plan celular de la red sobre la que se implementa. Con EDGE estamos un paso más cerca del estándar UMTS y las redes 3G, introduciendo, además de mayores tasas de transferencia de información, un nuevo esquema de modulación: 8-PSK. Más que nuevos servicios este estándar es una mejora

de los existentes GPRS y HSCSD (High-Speed Circuit Switched Data – Conmutación de Circuitos de Datos de Alta Velocidad) mediante la introducción de una nueva capa física. La implementación de EDGE por los operadores de red ha sido diseñada para ser simple. Sólo será necesario añadir a cada celda un transceptor adecuado, siendo en la mayoría de los casos posible realizar la actualización SW de forma remota. Este nuevo transceptor funcionará de manera correcta en modo GSM, conmutando a EDGE cuando el servicio solicitado lo requiera. (Díaz, 2013)

EDGE posee tasas de transferencia de datos similares a las de 3G. Puede llegar a una velocidad de 473 kbps. (Estrada Jimenez & Reinoso Chisaguano, 2009)

2.7.4 Tercera generación

Con la llegada de la tercera generación las redes de telefonía móvil se verán provistas de una gran versatilidad de la que antes no gozaban, motivo por el cual su funcionalidad no se encuentra limitada al uso de teléfonos móviles. Entre las novedades que introduce se encuentran sus capacidades multimedia, velocidades de transferencia de datos mucho mayores que en 2G, permitiendo comunicación audiovisual en tiempo real o una correcta conexión a Internet, y la transmisión de voz con calidad similar a la de la red fija cableada. Con estas características se hace factible la posibilidad de ampliar el escarapate de servicios ofrecidos a los usuarios, contribuyendo a generalizar aún más el uso de la red. El marco para el desarrollo de esta tercera generación fue establecido por la ITU (International Telecommunication Union) en la llamada IMT-2000, que proporciona normas para el acceso inalámbrico mundial para 3G. Se describen aquí los interfaces radio 3G: WCDMA y CDMA2000. (Díaz, 2013)

Asimismo, en un futuro próximo los sistemas 3G alcanzarán velocidades de hasta 384 Kbps, permitiendo una movilidad total a usuarios, viajando a 120 kilómetros por hora en ambientes exteriores. También alcanzará una velocidad máxima de 2 Mbps, permitiendo una movilidad limitada a usuarios, caminando a menos de 10 kilómetros por hora en ambientes estacionarios de corto alcance o en interiores. (Bedoya Giraldo, Salazar Giraldo, & Muñoz Lozano, 2013)

a) UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).

Ha sido concebido como un sistema global, que incluye tanto componentes terrestres como satélites. Los terminales son compatibles sobre sistemas 2G, lo cual dota a este estándar de una gran versatilidad. De esta manera, un abonado tendrá la posibilidad de alternar entre varias redes durante una comunicación sin perder en ningún momento la conexión. Entre las mejoras introducidas cabe destacar: • Fácil de usar. • Bajo costo para el usuario, al ofrecer gran variedad de formas de tarifa, tales como pago por byte, por sesión, tarifa plana... • Nuevos servicios, gracias a que soporta el protocolo IP y a su elevada tasa de transmisión de datos. • Acceso rápido. Desarrollado por 3GPP – proyecto común en el que colaboran ETSI (Europa), ARIB/TIC (Japón), ANSI T-1 (USA), TTA (Corea), CWTS (China) – su primera versión se dio a conocer en 1999 y se va introduciendo a través de versiones anuales. Como se mencionó con anterioridad, su interfaz radio se basa en el estándar WCDMA. Dicho interfaz es conocido bajo el acrónimo UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access), y su objetivo es conseguir altas velocidades de transmisión de forma fiable. (Díaz, 2013)

b) CDMA2000 1x CDMA2000 1x.

También conocido como 1xRTT (1 Times Radio Transmission Technology), opera sobre dos portadoras duplex de ancho 1.25Mhz. Casi duplica la capacidad de voz sobre las redes IS-95 gracias a la adición de 64 canales de tráfico ortogonales a los 64 de que ya se disponían en el “Forward Link” (o “Downlink”), y a la modulación coherente que hace posible una señal piloto en el “Reverse Link” (o “Uplink”), y aunque es capaz de soportar altas velocidades de datos, la mayoría de desarrollos están limitados a una velocidad pico de 144 kbits/s. Hay también novedades sobre la capa de enlace de datos para permitir tanto el mejor uso de los servicios de datos IS-2000 como protocolos de control de accesos a enlaces y control QoS (calidad de servicio).

c) CDMA2000 3x.

CDMA2000 3x Utiliza un par de canales de 3,75-MHz (p.ej., 3 X 1,25 MHz) para alcanzar mayores velocidades de datos. La versión 3x de CDMA2000 es algunas veces referidas como MultiCarrier o MC. La versión 3x de CDMA2000 no ha sido implementada y no está en desarrollo actualmente.

d) CDMA2000 1xEV- CDMA2000 1xEV-DO (CDMA2000 Evolution-Data Optimized)

Diseñado inicialmente por Qualcomm en 1999s para ofrecer enlaces de descarga en comunicaciones estacionarias con tasas superiores a los 2Mbps (revisión 0), es un acceso de banda ancha utilizando CDMA y FDD para maximizar las tasas de transmisión. Es muy popular sobre todo en el continente americano, en países en los que CDMA One se había desplegado con éxito en oposición al estándar GSM.

Se han hecho dos revisiones posteriores a esta primera versión:

Revisión A. Ofrece una creación más rápida de paquetes en UL y DL a través de la interfaz inalámbrica, que reduce la intermitencia y mejora las tasas de envío: además del incremento máximo en el enlace de bajada de 2.45Mbps a 3.1Mbps, cuenta con una mejora sustancial en el enlace de subida, de 153Kbps a un máximo de subida de 1.8Mbps. Este esquema ha sido desarrollado y comercializado en países como Nueva Zelanda, Japón, Estados Unidos, Canadá, República Checa, Ucrania, Rusia o México.

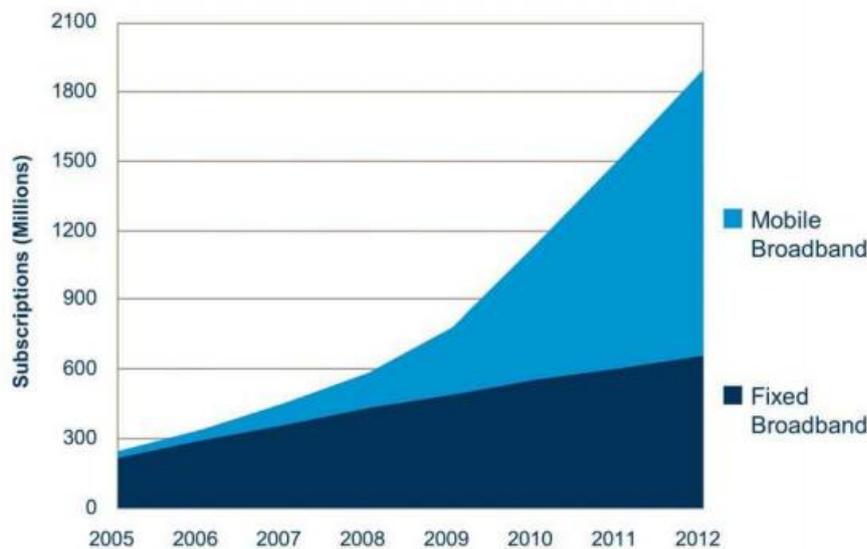
Revisión B. Es la evolución progresiva de la revisión A. Mantiene las capacidades de ésta y provee las siguientes mejoras: - Más velocidad en los enlaces de bajada (hasta 4.9 Mbit/s por operador). Implementaciones típicas incluyen tres operadores para un pico teórico máximo de 14.7Mbps. - Provee mayores tasas de transferencia compactando múltiples canales, mejora la experiencia de usuario y provee nuevos servicios como streaming para video de alta definición. - Aprovecha más eficazmente el uso de la batería incrementando el tiempo de uso y de espera del terminal. - Menos interferencias entre el usuario y la celda mediante la Reutilización Híbrida de la Frecuencia. - Aumenta la eficiencia del soporte para servicios que tienen requerimientos asimétricos de transmisión como intercambio de archivos, navegación web y entrega de archivos multimedia por banda ancha. CDMA2000 1x EV- CDMA2000 1x EV-DV (CDMA2000 Evolution-Data Voice) Soporta una velocidad de datos en el enlace de bajada en DL de hasta 3,1Mbps y una velocidad de datos en UL de hasta 1,8 Mbps. También puede soportar una operación concurrente con los usuarios de voz 1x, usuarios de datos 1x y usuarios de datos de alta velocidad 1xEV-DV en el mismo canal de radio. Su desarrollo no gozó de interés por parte de las operadoras, por lo que fue detenido por Qualcomm en 2005. (Diaz, 2013)

2.7.5 Cuarta generación

Debido a que los estándares de tercera generación no han logrado romper los cuellos de botella para para transferencia de datos y capacidad, se impulsó la formación de una nueva generación.

Los sistemas de 4G se enfocan a servicios de video de alta calidad, con tasas de transferencia de datos de alrededor de 100 Mbps en una estación móvil y 1 Gbps en una estación fija. 4G reensambla y converge algunas tecnologías existentes (GPRS, EDGE, WLAN, HIPERLAN). LTE (Long Term Evolution) es una tecnología en estado de prueba y podría ser considerada como el estándar 4G. LTE alcanza tasas entre 16 y 154 Mbps. (Estrada Jimenez & Reinoso Chisaguano, 2009)

Como se muestra en la figura 2.15, se estima que en el año 2012 los abonados a servicios de banda ancha rondarán los 1.8 billones, y que dos terceras partes de dichos abonados usarán dichos servicios.



Source: OVUM, Strategy Analytics & Internal Ericsson

Figura 2.15. Evolución temporal estimada del número de usuarios de telefonía móvil/fija hasta 2012.
Fuente: (Diaz, 2013)

Motivado por estas expectativas, y debido al creciente aumento del tráfico de datos en la red móvil – éste supero al tráfico de voz en Mayo de 2007, en parte motivado por la introducción de HSPA en el mercado – la idea del 4G sobrevuela desde hace tiempo la mente tanto de operadoras como de consumidores.

Estando 4G basada totalmente en IP y perfilándose como una red de redes más que como un estándar único, apoyada en las primeras pruebas realizadas en Japón por NTT DoCoMo – en las que se alcanzaron tasas de hasta 100 Mbps a 200Km/h – se esperan tasas de 100 Mbps en terminales en movimiento, y hasta de 1 Gbps en reposo.

Como puntos más característicos de la cuarta generación se pueden destacar:

- a) Los conceptos OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales), MIMO y SDR (Software Defined Radios) se asocian al nuevo acceso radio, EUTRAN, en contraposición del UTRAN basado en WCDMA de UMTS.
- b) Red basada completamente en IP.
- c) Tasas previstas de 100 Mbps en enlace descendente y 50 Mbps en enlace ascendente con un ancho de banda en ambos sentidos de 20Mhz. (Díaz, 2013)

LTE (Long Term Evolution), las especificaciones emanan del 3GPP (3rd Generation Partnership Project), que nació en 1998 con el objetivo de especificar 3G (UTRA-FDD y UTRA-TDD). También se encarga de mantener y desarrollar las especificaciones de GERAN (GSM EDGE RAN). La red de acceso radio se especifica en el marco del TSG RAN, que se organiza en cinco grupos de trabajo: WG1 (capa física), WG2 (capas 2 y 3), WG3 (interfaces fijos de la red de acceso), WG4 (aspectos de RF y RRM) y WG5 (conformidad de terminales). Los documentos del 3GPP se estructuran en Releases, cada una de ellas caracterizada por la incorporación de un conjunto de funcionalidades destacadas en relación a la versión anterior. Así, la que se llamó R99 (por el hecho de que se congeló en diciembre de 1999) supuso el primer conjunto de especificaciones UMTS. Seguidamente, tras la llamada R4, se completó en marzo de 2002 la R5 que incluye por ejemplo HSDPA. Tres años después se incorpora HSUPA así como MBMS en R6. En la R7 (septiembre de 2007) se incluye HSPA+, mientras que LTE/SAE se asocian ya a R8 y posteriores. Puede decirse que el primer paso hacia LTE se llevó a cabo en noviembre de 2004, cuando 3GPP TSG RAN organizó un Workshop sobre “RAN Evolution” en Toronto (Canadá), en el que se presentaron unas 40 contribuciones con ideas, propuestas, etc. En el propio Workshop se identificaron una serie de requisitos de alto nivel, como un coste por bit reducido, mejora en la provisión de servicios, flexibilidad en el uso de las bandas frecuenciales, arquitectura simplificada con interfaces abiertos, consumo de potencia en el terminal razonable, etc. También se puso de manifiesto que el esfuerzo de estandarización que esta evolución,

bautizada como E-UTRAN (Evolved UTRAN), llevaría asociado sólo resultaría justificable si las mejoras fueran significativas. (Agusti Comes, y otros, 2010)

En resumen se puede apreciar en la figura 2.16 la evolución de la telefonía celular.

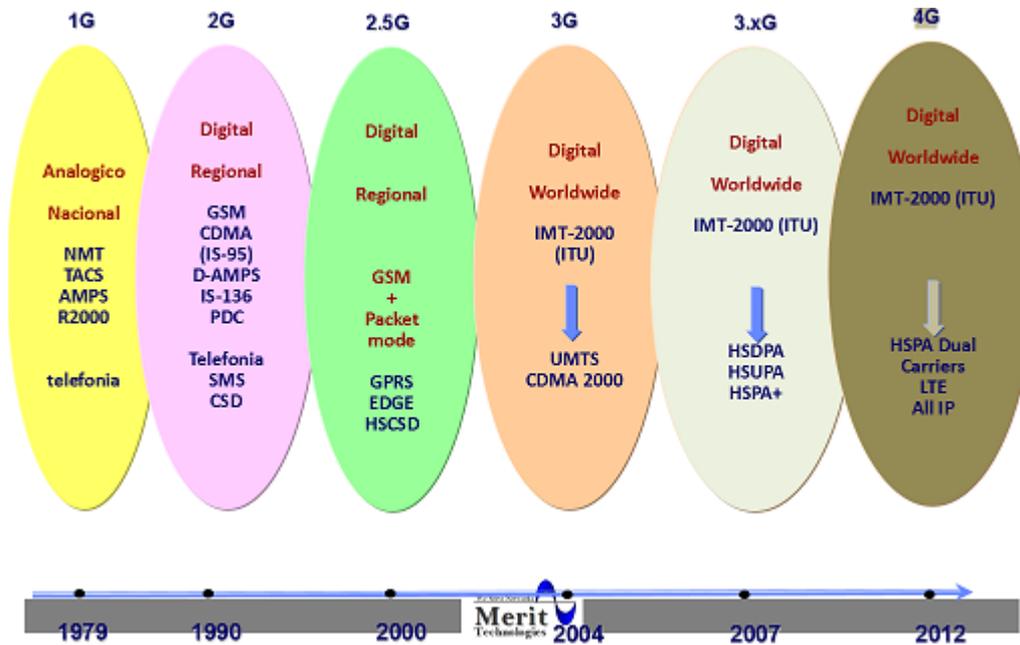


Figura 2.16. Evolución de telefonía celular.
(Martinez, 2001)

Es necesario señalar que la velocidad de transmisión está referida a la velocidad de descarga o downlink mostrada en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. *Velocidad de descarga de las tecnologías móviles.*

TECNOLOGIA	VELOCIDAD DE TRANSMISION
GSM	9.6 kbps
iDEM	22 kbps
D-AMPS	4.8 kbps
PDC	9.6 kbps
IS-95A(CDMA)	14.4 kbps
GPRS	115 kbps
HSCSD	57.6 kbps
IS-95B(CDMA)	64 kbps
EDGE	384 kbps
CDMA-1X	144 kbps
TD-SCDMA	2 Mbps
W-CDMA	Voz: 384 kbps, Data: 2 Mbps
EV-DO (CDMA 2000)	Voz: 153 kbps, Data: 3.09 Mbps
HSPA	14.4 Mbps
EV-DO REV, A	3.1 Mbps
EV-DO REV, B	14.7 Mbps
LTE	100 Mbps
LTE A	>1 Gbps

(Godinez Tello, 2011)

2.8 Tecnologías de Acceso Múltiple

2.8.1 La tecnología FDMA.

En el acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA), el ancho de banda disponible se divide en bandas de frecuencia. A cada estación se le asigna una banda para enviar sus datos. En otras palabras, cada banda está reservada para una estación específica, y pertenece a la estación todo el tiempo.

Cada estación también utiliza un filtro de paso de banda para limitar las frecuencias del transmisor. Para prevenir interferencias de estación, las bandas asignadas están separadas entre sí por pequeñas bandas de guardia. (Behrouz A. Forouzan, 4ta edición)

Esta tecnología no es recomendada para transmisiones digitales, aun cuando es capaz de llevar información digital.

2.8.2 La tecnología TDMA.

En el acceso múltiple por división de tiempo (TDMA), las estaciones comparten el ancho de banda del canal en el tiempo. Cada estación se le asigna un intervalo de tiempo durante el cual puede enviar datos. Cada estación transmite sus datos en un intervalo de tiempo asignado.

El principal problema con TDMA radica en lograr la sincronización entre las diferentes Estaciones. Cada estación necesita saber el comienzo de su ranura y la ubicación de su ranura. Esto puede ser difícil debido a los retrasos de propagación introducidos en el sistema si las estaciones se distribuyen en una gran área. Para compensar las demoras, podemos insertar guardias. La sincronización se realiza normalmente teniendo algunos bits de sincronización (normalmente se refiere a como bits de preámbulo) al comienzo de cada ranura. (Behrouz A. Forouzan, 4ta edición)

Comprime las conversaciones (digitales), y las envía cada una utilizando la señal de radio por un tercio de tiempo solamente. La compresión de la señal de voz es posible debido a que la información digital puede ser reducida de tamaño por ser información binaria (unos y ceros). Debido a esta compresión, la tecnología TDMA tiene tres veces la capacidad de un sistema analógico que utilice el mismo número de canales. (Bedoya Giraldo, Salazar Giraldo, & Muñoz Lozano , 2013)

En comunicaciones móviles TDMA es utilizado en casi todos los sistemas de segunda generación, destacando GSM.

2.8.3 La tecnología CDMA.

El acceso múltiple por división de código (CDMA). Mientras que en TDMA y FDMA los recursos se dividen de forma temporal o en frecuencia, siéndole asignado un time slot o una banda de frecuencia solamente a un usuario determinado, en CDMA todos los usuarios pueden transmitir al mismo tiempo y en la misma banda de frecuencia. Esto se consigue asignándole a cada usuario un código que los diferencia del resto. CDMA soluciona los problemas de sincronización asociados a TDMA y FDMA. El sistema 2G cdma-One y la mayoría de los sistemas 3G de telefonía móvil como CDMA2000 o UMTS incorporan CDMA. (Valera Sanchez, 2013)

Varias llamadas son sobrepuestas en el canal, y cada una tiene un código de secuencia único. Usando la tecnología CDMA, es posible comprimir entre 8 y 10 llamadas digitales para que estas ocupen el mismo espacio que ocuparía una llamada en el sistema analógico

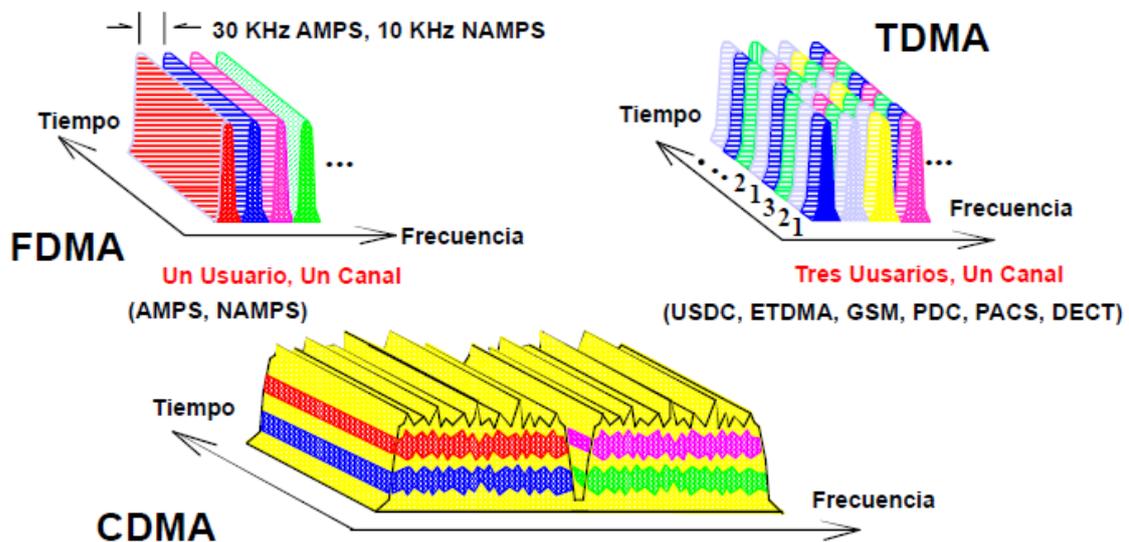


Figura 2.17. Diferencia entre TDMA, FDMA y CDMA
Fuente: (Vega Valdivia & Gordillo Lopez, 2015)

2.9 Sistema GSM ("Global System for Mobile communications")

El Sistema Global para las Comunicaciones Móviles (GSM, proviene de "Global System for Mobile communications") es un sistema estándar, completamente definido, para la comunicación mediante teléfonos móviles que incorporan tecnología digital. Por ser digital cualquier cliente de GSM puede conectarse a través de su teléfono con su computador y puede hacer, enviar y recibir mensajes por e-mail, faxes, navegar por Internet, acceso seguro a la red informática de una compañía (LAN/Intranet), así como utilizar otras funciones digitales de transmisión de datos, incluyendo el Servicio de Mensajes Cortos (SMS) o mensajes de texto. (Cornejo Ortega & Tintin Suquilanda, 2010)

El éxito de los sistemas analógicos provocó un extraordinario aumento en el número de usuarios de telefonía móvil que superó las previsiones estimadas por las compañías. Los usuarios demandaban redes de comunicaciones más seguras, de mayor calidad en la recepción y que les permitiesen una mayor movilidad en las comunicaciones a través de edificios ciudades o países, pero para ello, las comunicaciones analógicas mostraban grandes limitaciones. La solución llegó con la digitalización y el sistema GSM, que nació como estándar internacional de comunicaciones digitales móviles en 1987 tras la firma por 13

países del MOU (Memorandum de comprensión). Con este tratado se acordó la construcción de un sistema de comunicaciones que operara en una banda de 900 Mhz. Así, GSM no sólo se convirtió en un estándar europeo, sino que se utiliza en gran parte del mundo. Con GSM la telefonía móvil ha ido desarrollándose hasta convertirse en una verdadera revolución tecnológica que ha cambiado la percepción de la telefonía y las comunicaciones del consumidor, llegando a ser, para muchos, un elemento imprescindible de su vida cotidiana, tanto personal como profesionalmente. Además de las altas prestaciones que ofrece GSM, la incorporación de los sistemas digitales redujo el coste de las redes, puesto que las estaciones base y las centrales de conmutación digitales son más económicas que las analógicas. (Wevar, 2005).

2.9.1 La tecnología GSM

Antes del GSM, todos los países europeos usaban distintas normas de telefonía celular, por lo que era imposible que un suscriptor de cualquier país usara un solo teléfono en toda Europa. El GSM fue el primer sistema telefónico celular totalmente digital, diseñado para usar los servicios de la ISDN (red digital de servicios integrados) para proporcionar una amplia gama de servicios a la red. Ahora cuenta con entre 20 y 50 millones de suscriptores, y es la norma mundial más popular para equipos telefónicos y equipos personales de comunicación nuevos. (Tomasi, 2003)

Una función única de GSM que no existe en los sistemas analógicos anteriores es el servicio de mensajes cortos (SMS, de Short Message Service), que es bidireccional para mandar mensajes alfanuméricos hasta de 160 bytes de longitud. Estos mensajes SMS son transportados por el sistema en forma de almacenar y enviar. También se pueden usar en un modo de radioemisión celular, para mandar mensajes a receptores múltiples. También se ofrecen en GSM varios servicios suplementarios, como notificación de llamadas e impedimento de llamadas. (Tomasi, 2003)

Los servicios de datos presentan una tasa de hasta 144 kbps. Posee servicios adicionales como FAX, servicio de mensajería corta, desvío de llamadas, prohibición de llamadas, llamada en espera, identificación de número, informe de costos, roaming, entre otros. (Estrada Jimenez & Reinoso Chisaguano, 2009)

2.9.2 Servicios de Telecomunicación GSM

2.9.2.1 Servicios de Portadores

Los servicios portadores se establecen entre terminaciones de red en ambos extremos y ofrecen al usuario una capacidad de transporte independiente del contenido de la información, con diversas modalidades de funcionamiento que se especifican a continuación:

- Tipo (voz, datos)
- Modo (conmutación de circuitos, de paquetes)
- Velocidad de datos (300-9.600 bit/s)
- Direccionalidad (simplex, dúplex)

2.9.2.2 Teleservicios

Los Teleservicios son servicios de telecomunicación que proporcionan una capacidad completa de comunicación entre los usuarios, incluidas las funciones de terminal. Permiten también el acceso del usuario a algunas funciones de red como el almacenamiento y tratamiento de mensajes. En GSM se ofrecen los siguientes:

- Telefonía con voz digitalizada a velocidades de 13Kbit/s (velocidad total: calidades normal y mejorada) y 6.5 kbit/s (velocidad mitad). Se incluye aquí el servicio de llamada de emergencia.
- Mensajes cortos SMS (Short Message Service), que pueden leerse en la pantalla del teléfono móvil o en un PC que disponga de programas de gestión de SMS
- Almacenamiento y tratamiento de mensajes. Este servicio de mensajería vocal permite el almacenamiento de los mensajes no atendidos, por estar el teléfono móvil desconectado o fuera de cobertura.
- Mensajería multimedia MMS, que permite la transmisión de mensajes de voz, texto e imágenes fijas y móviles. (Cornejo Ortega & Tintin Suquilanda, 2010)

2.9.3 Banda de frecuencias GSM

El servicio de telefonía móvil en el Perú creció de forma acelerada durante los últimos años, entre el año 2001 al 2007 en promedio ha crecido 43% anual, entre el 2006 al 2007 creció 76%, a fines del 2009 la penetración a nivel nacional llegó al 80% y a fines del 2010, llegó al 90%.

Hasta el año 2001 sólo dos empresas brindaban el servicio (Telefónica Móviles y Bell South Perú S.A.) a partir de ese año ingresó al mercado TIM Perú S.A., cabe mencionar que la empresa Nextel del Perú también brindaba el servicio de radiotroncalizado y celular pero dirigido al sector corporativo.

El año 2005 ingresó al mercado América Móviles S.A. y compró a TIM Perú S.A. Nextel en el año 2008 adquirió licencias para brindar servicio celular en 3G usando tecnología WCDMA.

A inicios del 2011 se incorporó al mercado peruano un cuarto operador celular de capitales Vietnamitas llamado Viettel, compitiendo con las actuales empresas Movistar, Nextel y Claro. La buena pro fue en dar en concesión la banda C de la frecuencia de 1900. (Godinez Tello, 2011)

La separación del portador es de 200 kHz, lo que permite, por ejemplo, la frecuencia de radio de 124 y 374 canales en las bandas de 900 y 1800 MHz respectivamente, dejando así una banda de guarda de 200 kHz en cada extremo de las sub-bandas. Cada frecuencia de radio se divide en TDMA de frame de 4.615 ms. (Timo Halonen, 2da edición)

Tabla 2.3. *Bandas de frecuencia estandarizadas GSM (Timo Halonen, 2da edición)*

GSM frequency band	Available frequencies	Where available
	450.4-457.6 MHz paired with	
400 MHz	460.4-467.6 MHz or 478.8-486 MHz paired with 488.8-496 MHz	Europe
800 MHz	824-849 MHz paired with 869-894 MHz	America
900 MHz	880-915 MHz paired with 925-960 MHz	Europe, Asi Pacific, Africa
1800 MHz	1710-1785 MHz paired with 1805-1880 MHz	Europe, Asi Pacific, Africa
1900 MHz	1850-1910 MHz paired with 1930-1990 MHz	America

(MTC, 2012)

Tabla 2.4. *Asignaciones en las bandas de 800 MHz, 900 MHz y 1900 MHz para telefonía móvil en Perú*

Empresa	Banda (MHz)	Cantidad (Uplink + Downlink) (MHz)	Total de espectro asignado (MHz)	
			Lima y Callao	Provincias
TELEFONICA MOVILES S.A.	800	25	50	50
	1900	25		
AMERICA MOVIL PERU S.A.C.	800	10 Lima y Callao 16 Provincias	60	60
	1900	35		
NEXTEL DEL PERU S.A.	800	16.4 Lima y Callao Variable	57.375	50.65
	800	5.975 Lima y Callao		
VIETTEL PERU S.A.C.	1900	35	25	25
	1900	25		

(MTC, 2012)

MS se comunica con una BTS mediante un radiocanal FDD.

Radiocanal: dos frecuencias distintas, una para el enlace ascendente (UL: MS-BTS) y otra para el descendente (DL (BTS-MS)).

Tabla 2.5. Bandas de frecuencias GSM.

Parámetro	GSM-900	E-GSM	GSM-1800	GSM-1900
Frecuencias (Mhz)	890-915	890-915	1710-1785	1850-1910
Móvil-Base	935-960	925-960	1805-1880	1930-1990
Base Móvil				
Distancia de Duplexado	45 MHz	45 MHz	95 MHz	80 MHz
Ancho de banda total (MHz)	25 + 25	35 + 35	75 + 75	60 + 60
Ancho de banda radiocanal	200 (KHz)	200 (KHz)	200 (KHz)	200 (KHz)
Numero de portadoras	124	174	374	299

(MTC, 2012)

Al ser un sistema híbrido, el sistema GSM organiza las transmisiones de radio, asignando portadoras (frecuencias centrales de los slots que se sitúan cada 200 kHz) y timeslots, a los canales lógicos. La duración del Frame de 4.615 ms y cada uno es dividido en 8 time slots (como se muestra en la Figura 2.18).

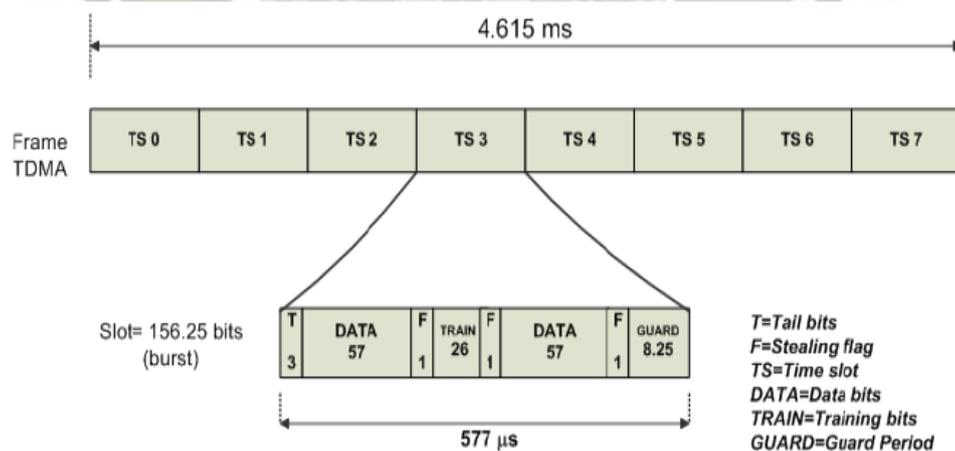


Figura 2.18. Frame GSM

Fuente: (Bedoya Giraldo, Salazar Giraldo, & Muñoz Lozano , 2013)

2.9.4 Factores del éxito de GSM

Han sido varios los factores que combinados, han contribuido al éxito de GSM en los últimos años:

- Abarata y simplifica el uso de la telefonía móvil.
- Aceptación de carácter universal.
- Compatibilidad con las tecnologías actuales y futuras.
- Acceso a servicios de gran utilidad.
- Ofrece gran calidad de voz.
- Distinción de los tipos de datos y adecuación a cada uno de ellos.
- Permite el roaming internacional.
- Incorpora mecanismos de seguridad fiables.

(Wevar, 2005)

2.9.5 Arquitectura del sistema GSM

A continuación se nombran las características técnicas fundamentales del sistema GSM, que se divide en cuatro niveles principales:

Descripción:

- Estación Móvil (MS).
- Sistema de Estación Base (BSS).
- Sistema de Red (NSS).
- Sistema de Operación (OSS).

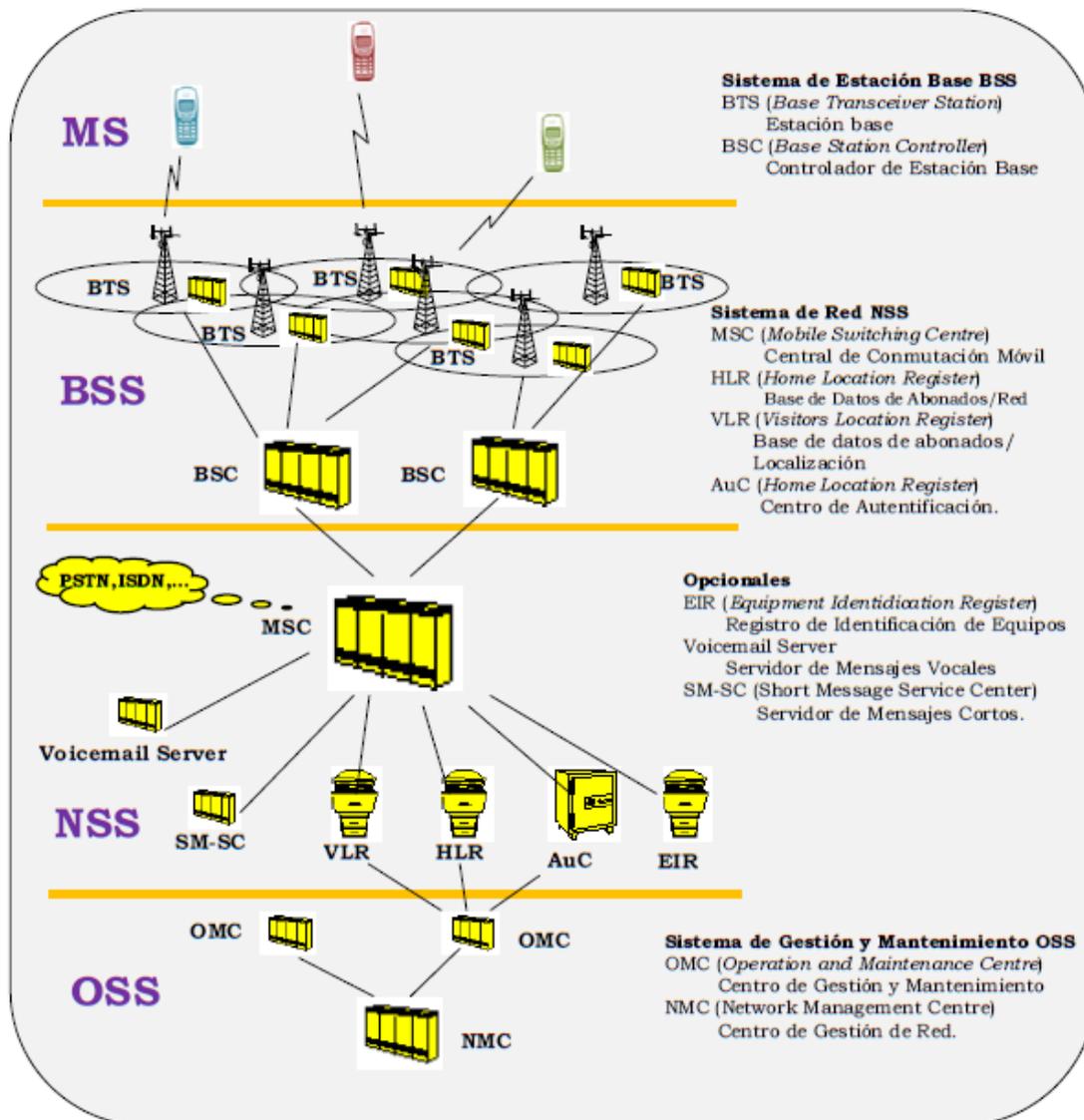


Figura 2.19. Esquema general de la arquitectura básica de una red GSM.
Fuente: (Godinez Tello, 2011)

2.9.5.1 Estación Móvil (MS)

La estación móvil es el terminal de usuario que se comunica a través del interfaz aire. Es la física para el acceso a la red. Está compuesta del equipo móvil (ME) y del Subscriber Identity Module (SIM).

Equipo Móvil (ME): Realiza funciones como transmisión por radio, codificación de voz, gestión de canales entre otros. Posee un identificador conocido como IMEI.

El IMEI (International Mobile Equipment Identity), está compuesto por 6 dígitos que representan el código de homologación del equipo, 2 dígitos que identifican al fabricante y 8 dígitos que representan el número de serie.

Módulo de identidad del abonado (SIM): Personaliza a la terminal. Posee un PIN el cual es solicitado al momento de encenderlo. El PUK es una clave de desbloqueo cuando se ha ingresado incorrectamente el PIN por más de tres veces. Posee información para la autenticación del usuario entre los que están:

Identidad Internacional Abonado Móvil (IMSI): Es un elemento particular y característico de cada abonado que posee la identidad del mismo. Está compuesto por el código celular del país, el código de la red celular y el número de identificación del suscriptor.

Identidad Temporal de Abonado (TMSI): Temporalmente el VLR asigna un número de identificación que asegura privacidad del IMSI.

Identificación de Área de Localización (LAI): Posee un código de identificación del país, un código de identificación del operador, y un código de área de localización. (Estrada Jimenez & Reinoso Chisaguano, 2009)

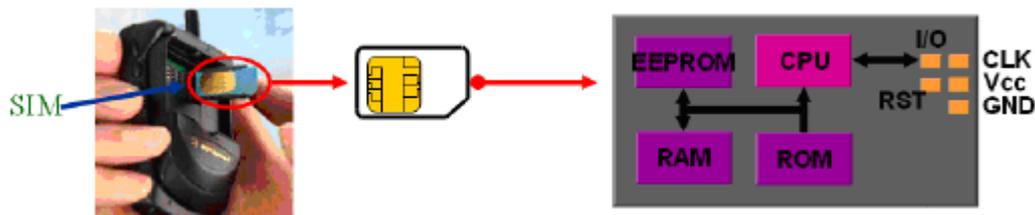


Figura 2.20. Tarjeta SIM

Fuente: (Estrada Jimenez & Reinoso Chisaguano, 2009)

2.9.5.2 Sistema Estación Base (BSS)

El sistema de estación base o Base Station System (BSS) se compone de dos partes: La estación base transeptora o Base Transceiver Station (BTS) localizada en la antena y la controladora de estación base o Base Station Controller (BSC). Ambos se comunican a través de la interfaz llamada A-bis permitiendo operación entre componentes manufacturados por distintos fabricantes.

Base Tranceiver Station(BTS): contiene a los transceivers de radio que definen una célula y maneja los protocolos de radio de la interfaz con la estación móvil. Debido al número

potencialmente grande de estaciones bases, los requisitos para una BTS son confiabilidad, portabilidad y costo mínimo.

Base Station Controller (BSC): maneja los recursos de radio para una o más estaciones base. El BSC maneja la configuración de las comunicaciones de radio, handoff, etc. Es la conexión entre la estación base y el MSC. También se encarga de ejecutar algoritmos de control de potencia y cifrado.

GSM utiliza el modelo OSI (Open System Interconnection) para regir los protocolos de comunicación entre sus elementos de red. Hay tres interfaces basadas en OSI.

- Una interfaz de radio común, llamada interfaz de aire, entre la estación móvil y la estación base.
- Una interfaz A entre el MSC y el BSC.
- Una interfaz A-bis entre la BTS y el BSC.

Con estas interfaces comunes, los operadores de los sistemas pueden comprar el equipamiento a distintos fabricantes y conectarlos sin problemas. La diferencia entre interfaz y protocolo es que la interfaz representa el punto de contacto entre dos entidades adyacentes (equipo o sistema) y el protocolo provee el flujo de datos perteneciente a diferentes protocolos. (Godinez Tello, 2011)

2.9.5.3 Subsistema de conmutación de Red (NSS)

Subsistema de conmutación de Red o Network Switching Subsystem (NSS) en GSM utiliza una red inteligente (IN). El componente principal del sistema de la red es el Mobile Services Switching Center (MSC). Actúa como un nodo normal de conmutación PSTN (Red Telefónica Pública Conmutada, Public Switched telephone network) o ISDN (Red Digital de Servicios Integrados, Integrated Services Digital Network) y además proporciona todas las funcionalidades necesarias para manipular un usuario móvil incluyendo: registro, autenticación, actualización de la localización, handoff entre MSC's y encaminamiento de llamada a un suscriptor roaming. (Godinez Tello, 2011)

Provee servicios básicos como gestión de llamadas, servicios suplementarios, llamadas de emergencia, SMS, autenticación de usuarios, operación entre celdas (registro de posición,

traspaso o handoff y restablecimiento de la llamada), y gestión de la red. (Estrada Jimenez & Reinoso Chisaguano, 2009)

Mobil Switching Center (MSC): Es el componente central del subsistema de la red denominado centro de conmutación de servicios móviles.

El MSC realiza conmutación y señalización básica. Gestiona llamadas entre usuarios GSM: establecimiento, encaminamiento, control y finalización.

El MSC proporciona la conexión a la red fija (PSTN o ISDN).

Estos servicios son provistos con cuatro bases de datos inteligentes, las cuales junto con el MSC forman el Sistema de Red. El MSC también proporciona las conexiones a la red pública fija. (Estrada Jimenez & Reinoso Chisaguano, 2009)

El Home Location Register (HLR): Contiene toda la información administrativa de cada suscriptor registrado en la red GSM correspondiente, junto con la localización general del suscriptor, pero no la actual. La localización es usada al realizar el encaminamiento de llamadas entrantes hacia el móvil (típicamente es la dirección SS7-Sistema de señalización por canal común n° 7- del MSC visitado).

Hay lógicamente un HLR por red GSM, aunque la base de datos puede ser implementada como base de datos distribuida.

El Visitor Location Register (VLR): Contiene información administrativa seleccionada proveniente del HLR, necesaria para el control de la llamada y provisión de servicios suscritos, para cada móvil localizado en el área geográfica controlada por el VLR.

Aunque el VLR puede ser implementado como una unidad independiente, se le relaciona junto al MSC. La proximidad de la información de VLR al MSC acelera el acceso a la información que el MSC requiere durante una llamada. Es preciso resaltar que el MSC no contiene información particular acerca de las estaciones móviles, esta información es guardada en los registros de ubicación.

Los otros dos registros se utilizan con el propósito de autenticación y seguridad.

El registro Equipment Identity Register (EIR): es una base de datos que contiene una lista de todos los equipos móviles válidos en la red, donde cada equipo móvil es identificado

por su International Mobile Equipment Identity (IMEI). Un IMEI es una subdivisión del HLR.

El Authentication Center (AuC): Es una base de datos protegida que salva una copia de la clave secreta (password) guardada en la tarjeta SIM de cada suscriptor usada para la autenticación. Es, también, una subdivisión del HLR.

En orden de establecer un pedido de llamada, ésta es inicialmente ruteada hacia el GMSC (Gateway MSC), quien busca el actual HLR debido a que conoce el número de directorio del abonado GSM. El GMSC tiene una interfaz con la red de trabajo externa para hacer la acción de gatewaying.

El Centro de Servicio de Mensajes Cortos o SMSC (Short Message Service Center) es un elemento de la red que maneja el envío de un SMS de un terminal a otro. En el caso de que el terminal de recepción esté desconectado a la red, el SMSC se encarga de almacenar el SMS hasta que el terminal vuelva a conectarse. (Godinez Tello, 2011)

2.9.5.4 Subsistema de mantenimiento y operación (OMSS)

Hay áreas que componen el Sistema de Operación y Mantenimiento u Operation and Maintenance Sub System (OSS).

- Funciones de operación y mantenimiento de Red.
- Gestión de suscripción, incluyendo precio y tasación.
- Gestión del equipo móvil.

Para la realización de éstas tareas se necesita interacción entre algunos o todos los elementos de red.

Las funciones de control son monitoreadas desde el OMC (Operation and Maintenance Center). La OMC tiene acceso tanto a la GMSC como a la BSC. Entre las principales funciones se pueden nombrar: operación comercial y de administración, manejo de la seguridad, configuración de la red, y tareas de mantenimiento.

OMC (Operation and Maintenance Center): Constituye una parte primordial dentro del subsistema de operación y mantenimiento. Está relacionado con las funcionalidades de

administración de elementos que cumplen tareas de billing y que permiten gestionar la tarificación.

NMC (Network Management Center): Está relacionado con las funciones de administración de toda la red. (Estrada Jimenez & Reinoso Chisaguano, 2009)

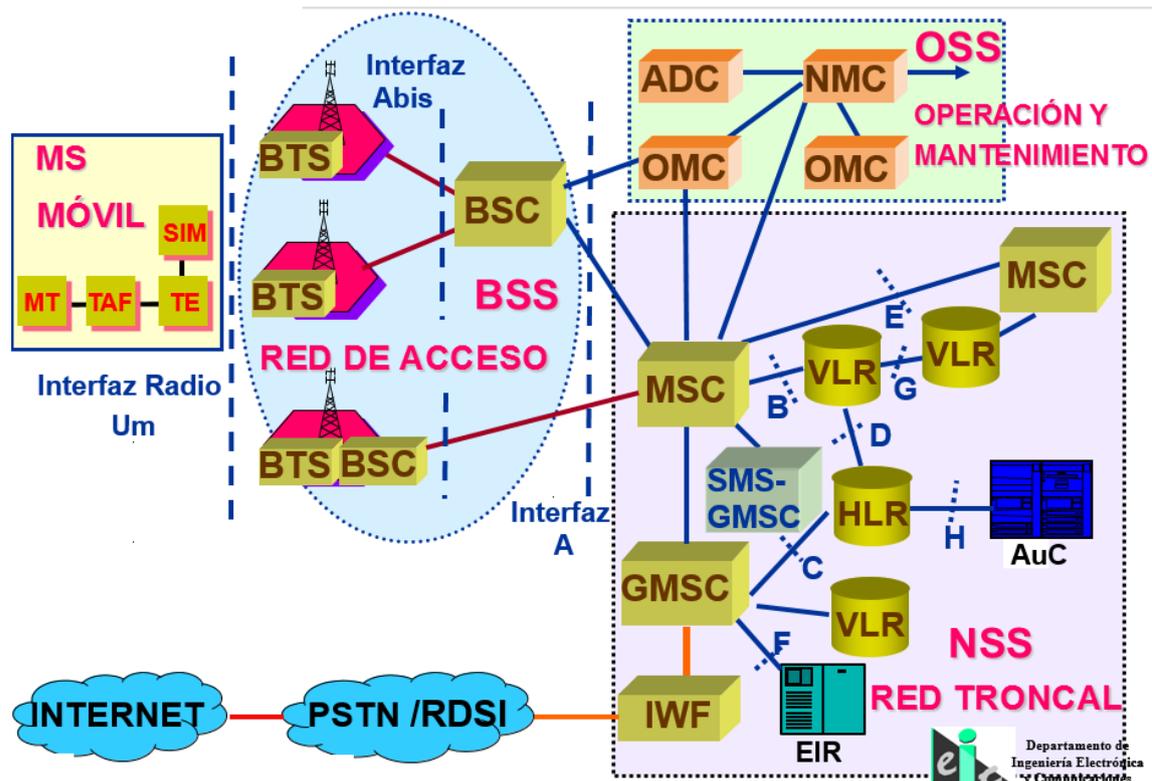


Figura 2.21. Se detalla otro esquema general de una red GSM (García Pastor & Cidras Pidre, 2017)

2.10 Sistema GPRS

El sistema GPRS (Servicio General de Paquetes por Radio, por sus siglas en inglés) permite el envío y la recepción de información a los celulares dividiendo la información en paquetes, los cuales son transmitidos, reunificados y presentados en la pantalla del teléfono. El GPRS logra esto utilizando la tecnología de ranuras múltiples; la ventaja adicional es que sólo se tiene que pagar por el contenido que se baja de la red y no por todo el tiempo que se está conectado a ella. Por otra parte, al enviarse la información por paquetes de datos se deja disponible el canal de voz. A través de GPRS se puede enviar y recibir información (e-mails, imágenes, gráficos, etc.) utilizando el mismo equipo celular a través del navegador WAP (Wireless Access Protocol) o utilizando el equipo celular como modem inalámbrico, conectándolo vía el puerto infrarrojo, Bluetooth o cable a una Laptop, PDA u otros

dispositivos. A diferencia de CSD y HCSD, con GPRS se puede estar enviando información y simultáneamente contestar una llamada (Always On). (Wevar, 2005)

2.10.1 Red GPRS

La red GSM prevé unos servicios de transmisión de datos desde la fase inicial. Sin embargo, se trata de servicios con modalidad de transferencia por conmutación del circuito, es decir, donde la red, una vez establecida la conexión física entre dos usuarios, dedica los recursos propios hasta que no es solicitado expresamente el establecimiento de la conexión, independientemente del hecho de que los dos usuarios se intercambien datos durante todo el tiempo de conexión. Esta modalidad de transferencia es óptima sólo en el caso en que los dos usuarios tengan que intercambiarse una cantidad significativa de datos (transferencia de ficheros o archivos), resulta ineficiente en cuanto los datos a intercambiarse son de pequeña entidad o bien, en el caso más frecuente, el tráfico de datos es de tipo interactivo o transitorio, es decir, el tiempo de uso efectivo de los recursos de la red supone sólo una parte con respecto al tiempo total de conexión (como, por ejemplo, la navegación en Internet a través de la World Wide Web). Con el sistema GPRS (General Packet Radio Service), introducido por ETSI (European Telecommunication Standard Institute) para la fase 2+ del sistema GSM, el acceso a la red de paquetes se lleva al nivel del usuario del móvil a través de protocolos como los TCP/IP (Transmission Control Protocol), X.25, y CLNP (Connectionless Network Protocol), sin ninguna otra necesidad de utilizar conexiones intermedias por conmutación del circuito. Al contrario que el servicio de transferencia de datos con modalidad de conmutación de circuito, en el que cada conexión establecida se dedica sólo al usuario que la ha solicitado, el servicio GPRS permite la transmisión de paquetes en modalidad link by link, es decir, los paquetes de información se encaminan en fases separadas a través de los diversos nodos de soporte del servicio, denominados GSN (Gateway Support Node). Por ejemplo, una vez que un paquete ha sido transmitido por el interfaz de radio (Um), se vuelven a liberar los recursos Um, que así pueden ser utilizados por algún otro usuario y el paquete se vuelve a enviar sucesivamente de nodo a nodo hacia su destino. (Wevar, 2005)

La tecnología GPRS, o generación 2.5, representa un paso más hacia los sistemas inalámbricos de Tercera Generación o UMTS. Su principal base radica en la posibilidad de disponer de un terminal permanentemente conectado, tarifando únicamente por el volumen

de datos transferidos (enviados y recibidos) y no por el tiempo de conexión como hemos podido observar en un punto anterior.

Obtiene mayor velocidad y mejor eficiencia de la red. Tradicionalmente la transmisión de datos inalámbrica se ha venido realizando utilizando un canal dedicado a GSM a una velocidad máxima de 9.6 Kbps, con el GPRS no sólo la velocidad de transmisión de datos se ve aumentada hasta un mínimo 40 Kbps y un máximo de 115 Kbps por comunicación, sino que además la tecnología utilizada permite compartir cada canal por varios usuarios, mejorando así la eficiencia en la utilización de los recursos de red. La tecnología GPRS permite proporcionar servicios de transmisión de datos de una forma más eficiente a como se venía haciendo hasta el momento. (Bedoya Giraldo, Salazar Giraldo, & Muñoz Lozano , 2013)

2.10.2 Arquitectura de red GPRS

Como ya se explicó con anterioridad, GPRS es una red superpuesta a GSM, por lo que comparte con ella la red de acceso (GSM-IP). Para lograr esto, GPRS introduce dos nuevos nodos, GGSN y SGSN:

- a) **GGSN (Gateway GPRS Support Node):** Actúa como un interfaz lógico hacia las redes de paquetes de datos externas (router).
 - Se conecta a redes externas como Internet o X.25.
 - Es un dispositivo de encaminamiento hacia una subred ya que hace que la infraestructura de la red GPRS sea transparente vista desde fuera.
 - Cuando recibe datos dirigidos hacia un usuario específico, comprueba si la dirección está activa, y en caso afirmativo, envía los datos al SGSN.
 - Encamina hacia la red correspondiente los datos que origina el móvil. (Wevar, 2005)

- b) **SGSN (Serving GPRS Support Node):** Básicamente es un nodo de conmutación de paquetes que se sitúa jerárquicamente al mismo nivel que las MSC. Se encarga del transporte de los paquetes de datos hacia y desde BTS que se encuentran en su área de servicio, también cumple la función de detectar nuevos móviles GPRS en dicha área guardando un registro de su localización, consultando con el HLR el perfil del usuario, de gestionar la movilidad de los MS y controlar aspectos relacionados

con tarificación, control de accesos y seguridad de las comunicaciones (encriptación y compresión de datos). (Wevar, 2005)

- c) **PCU (Packet Control Unit):** Este elemento se introduce a nivel de BSC (Base Station Control), es el encargado de manejar la comunicación de paquetes. (Wevar, 2005)
- d) **CG (Charging Gateway):** Su función principal es recoger los CDRs generados por los SGSNs y GGSNs de manera que los consolida y pre-procesa antes de enviarlos al sistema de tarificación o BS (Billing System). (Wevar, 2005)
- e) **BG (Border Gateway):** Básicamente es un nodo pasarela que realiza la interfaz entre backbones GPRS de distintas operadoras. (Wevar, 2005)

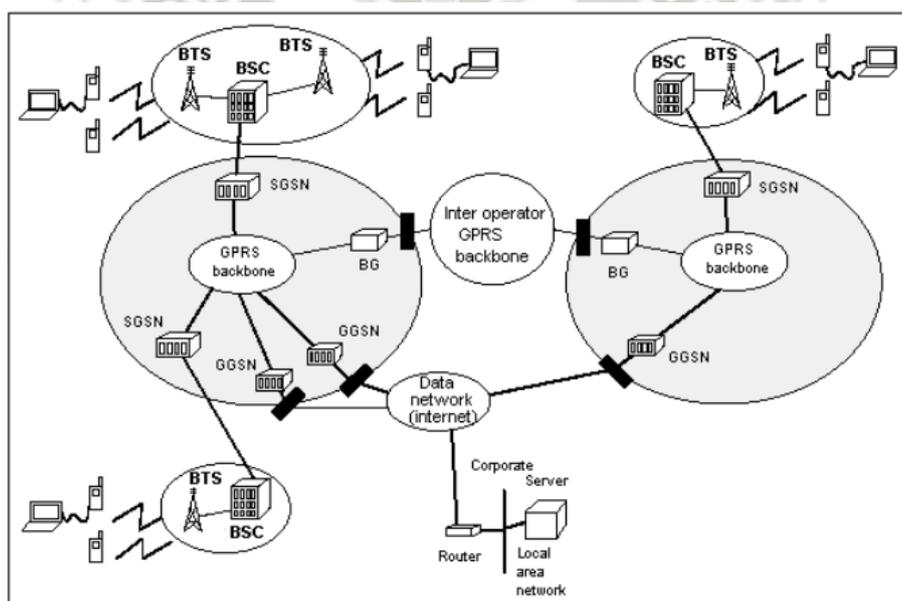


Figura 2.22. Arquitectura de la red GPRS
Fuente: (Wevar, 2005)

2.11 SMS (SHORT MESSAGE SERVICE)

El servicio de mensajería corta consiste en el intercambio de mensajes de texto que pueden incluir letras, números y otros caracteres a través de la red GSM. Los mensajes pueden ser recibidos en cualquier momento incluso durante llamadas telefónicas o transmisión de datos. Cada mensaje puede tener hasta 160 caracteres cuando se usa el alfabeto latino, y 70 caracteres si se usa otro alfabeto como el árabe o el chino. En los últimos años el volumen

de SMS se ha incrementado significativamente. (Estrada Jimenez & Reinoso Chisaguano, 2009)

2.11.1 Características

El servicio de mensajería corta utiliza los canales de señalización SACCH (Slow Associated Control Channel) y SDCCH (Slow Dedicated Control Channel). El SACCH es usado durante el transcurso de una llamada y el SDCCH es usado si el receptor está libre. Las características generales de SMS son:

Concatenación: Se pueden concatenar algunos SMS estándar para formar un mensaje largo. Se pueden concatenar hasta 255 mensajes. Cuando esta característica es usada se debe incluir información adicional para que la aplicación puede reensamblar correctamente los mensajes cortos concatenados.

Existe una versión mejorada que también permite concatenar hasta 255 mensajes pero utiliza un campo de referencia de 16 bits en vez de 8 bits que utiliza la versión normal. El campo de referencia de 16 bits reduce la probabilidad de errores en el proceso de concatenación.

Compresión: Permite comprimir los datos de usuario del mensaje. Esta característica es opcional, y se basa en un algoritmo donde la longitud de la secuencia de salida es inversamente proporcional a la frecuencia con que el carácter ocurre en la secuencia de entrada.

Mensajería binaria: El SMS puede ser configurado en modo carácter o binario. El modo binario permite mejorar la eficiencia de los datos transmitidos.

Facturación: Cada mensaje tiene una referencia de facturación asociada, ésta le dice al sistema de facturación la tarifa que se le debe cargar al mensaje.

Soporte de diferentes alfabetos: Se pueden utilizar dos alfabetos: UCS2 y Alfabeto por defecto GSM de 7 bits. El UCS2 (Universal Multiple Octet Coded Character Set 2) incorpora todos los principales lenguajes de todo el mundo. El alfabeto por defecto de 7 bits se deriva del conjunto de caracteres ASCII. También se puede utilizar un alfabeto GSM de 8 bits para datos en modo binario. (Estrada Jimenez & Reinoso Chisaguano, 2009)

2.11.2 Arquitectura

2.11.2.1 SME (Short Messaging Entity)

Entidad que puede ser un teléfono móvil, un computador o cualquier otro dispositivo capaz de enviar y recibir mensajes cortos en formato SMS.

2.11.2.2 MSC (Mobile Switching Center)

Realiza funciones de conmutación. Recibe y transfiere los SMS, además puede suministrar información sobre errores en la transferencia de los mensajes de texto.

2.11.2.3 SMSC (Short Message Service Center)

Es un centro de almacenamiento y retransmisión, responsable de garantizar la entrega de los mensajes de texto a través de la red. Puede ser parte integrante del MSC o una entidad de red independiente.

Almacena los mensajes hasta que el destino se encuentre disponible y luego los retransmite. Los SMS no pueden enviarse directamente entre SME's sin pasar por este centro. Además el SMSC intercambia con la red mensajes de confirmación de recepción/ envío de los mensajes cortos.

2.11.2.4 SMS-GMSC (SMS Gateway Mobile Switching Center)

Es un MSC capaz de recibir SMS desde un SMSC. El SMS-GMSC interroga al HLR sobre la información de encaminamiento, localiza la MSC actual del receptor y le entrega el SMS para ser enviado al SME destino.

2.11.2.5 SMS-IWMSC (SMS inter-working Gateway Mobile Switching Center)

Es un MSC capaz de recibir un mensaje corto de la red móvil y enviarlo hacia el SMSC apropiado. El SMS-GMSC y SMS-IWMSC están normalmente integrados en el SMSC.

La figura 2.23 muestra la estructura básica de la red para soporte de SMS.



Figura 2.23. Arquitectura de la red SMS
Fuente: (Estrada Jimenez & Reinoso Chisaguano, 2009)

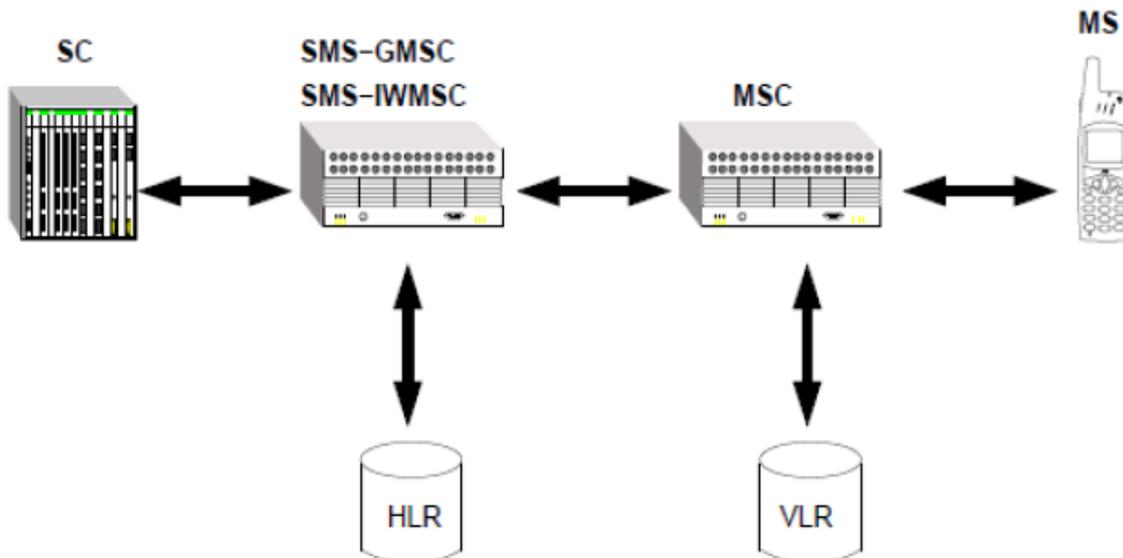


Figura 2.24. Estructura básica de la red para la transferencia de mensajes cortos
Fuente: (Del Valle Diaz, 2001)

2.11.3 Modelo de Capas

El stack de protocolos SMS está compuesto de cuatro capas: Aplicación, Transferencia, Retransmisión y Enlace.

2.11.3.1 Capa Aplicación

Consiste en las aplicaciones (editor de mensajes, juegos, etc) implementadas en el SME para enviar, recibir e interpretar el contenido de los mensajes. Esta capa es también conocida como SM AL (Short Message Application Layer).

2.11.3.2 Capa Transferencia

En esta capa el mensaje es considerado como una secuencia de octetos que contiene información como la longitud del mensaje, creador y destinatario del mensaje, fecha de recepción, etc. Esta capa es también conocida como SMTL (Short Message Transfer Layer).

2.11.3.3 Capa Retransmisión

Permite el transporte de mensajes entre varios elementos de red. Un elemento de red puede almacenar temporalmente un mensaje si el siguiente elemento en la cadena no está

disponible para recibir el mismo. Esta capa es también conocida como SMRL (Short Message Relay Layer). (Estrada Jimenez & Reinoso Chisaguano, 2009)

2.11.3.4 Capa Enlace

Realiza la transmisión del flujo de bits del mensaje a través del medio físico, entre las entidades de la red SMS. Esta capa es también conocida como SM LL (Short Message Link Layer).

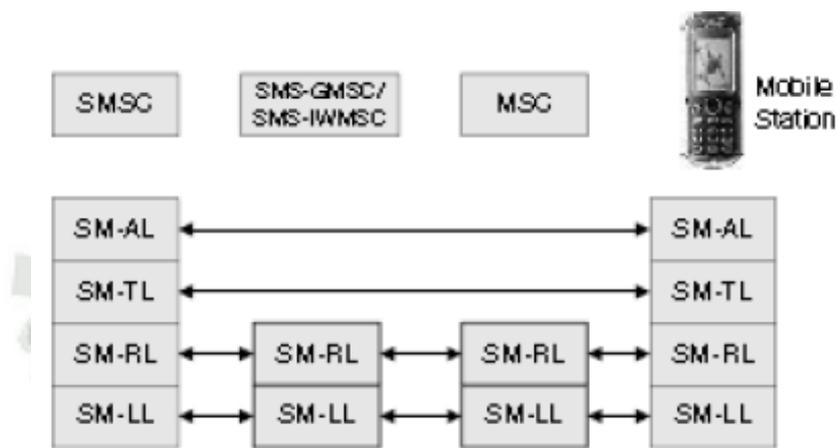


Figura 2.25. Stack de protocolos SMS
Fuente: (Estrada Jimenez & Reinoso Chisaguano, 2009)

2.11.4 Tipos de transacciones SME-SMSC

El conjunto de transacciones que pueden ocurrir entre el SMSC y la SME son:

- **SMS-SUBMIT:** Corresponde a la transferencia de un mensaje originado en el SME hacia SMSC.
- **SMS-SUBMIT-REPORT:** Consiste en el acuse enviado por el SMSC como respuesta de la transacción SMS-SUBMIT.
- **SMS-DELIVER:** Corresponde a la transferencia de un mensaje destinado al SME desde el SMSC.
- **SMS-DELIVER-REPORT:** Consiste en el acuse enviado por el SME como respuesta de la transacción SMS-DELIVER.

- **SMS-STATUS-REPORT:** Se da cuando el SMSC envía un reporte de estado de un SMS al SME.
- **SMS-COMMAND:** Se utiliza cuando el SME requiere ejecutar un comando en el SMSC. (Estrada Jimenez & Reinoso Chisaguano, 2009)

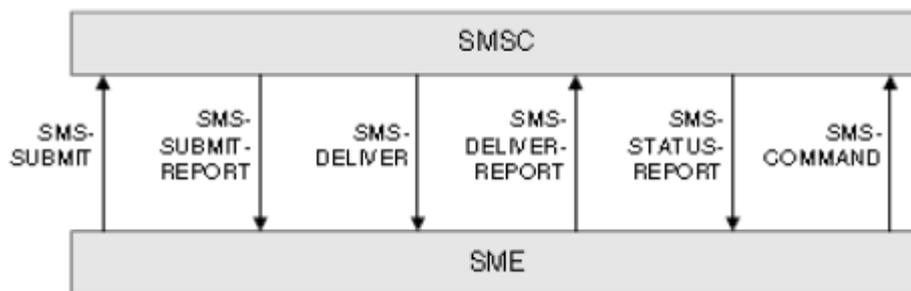


Figura 2.26. Tipos de transacciones
Fuente: (Estrada Jimenez & Reinoso Chisaguano, 2009)

2.11.5 Elementos del SMS

El SMS para la recepción y transferencia de mensajes comprende siete elementos que son:

Validity Period: Período durante el cual puede estar almacenado un SMS en el SMSC mientras no pueda ser entregado a su destino, si se supera este tiempo el mensaje es eliminado.

Service Centre: Time Stamp: Elemento que informa el tiempo al que el SMSC recibió el SMS para ser entregado al SME.

Protocol Identifier: Este elemento indica la forma en la que la aplicación receptora maneja los mensajes entrantes.

More Messages to Send: Elemento que le permite al SMSC informarle al SME que más mensajes están esperando para ser entregados. Utiliza un parámetro booleano para indicar si hay más mensajes para enviar.

Priority: Elemento provisto por el SMSC o SME que indica la importancia relativa de un mensaje.

Messages Waiting: Cuando un mensaje no puede ser entregado porque el SME no está disponible, permite indicar al HLR que notifique al SMSC cuando ya esté accesible el SME para realizar la entrega del mensaje.

Alert SMSC: Permite avisar al SMSC de que un SME al que se le había intentado entregar un mensaje sin éxito ya está disponible. (Estrada Jimenez & Reinoso Chisaguano, 2009)

2.11.6 TIPOS DE SMS

Los SMS pueden clasificarse según el número de destinatarios en: mensajes punto a punto y punto multipunto.

2.11.6.1 Punto a punto

En este tipo de mensajes el destinatario es único y se pueden clasificar según la dirección de envío en: Mobile Originated y Mobile Terminated.

a) MO (Mobile Originated)

Son los mensajes que se originan en el SME. El mensaje es transportado desde el SME hasta el MSC (SMS-SUBMIT), el destino puede ser otro usuario móvil o una aplicación. Se puede configurar el SME para que el SMSC envíe un reporte de confirmación del mensaje recibido (SMS-SUBMIT-REPORT).

El mensaje puede ser enviado a un número corto (Ej. 5039), que previamente ha sido contratado a las operadoras móviles por parte de las empresas que prestan servicios utilizando SMS. Este tipo de mensajes son los que se emplean para participación en concursos, votaciones, petición de alertas o de recepción de información en el móvil.



Figura 2.27. Mobile Originated (MO)
Fuente: (Estrada Jimenez & Reinoso Chisaguano, 2009)

b) MT (Mobile Terminated)

Son los mensajes que se envían a un SME. El mensaje es enviado desde el SMSC hasta el terminal móvil (SMS-DELIVER), la fuente puede ser otro usuario móvil o una

aplicación. Una vez que el mensaje llega al terminal móvil un reporte confirma al SMSC que la entrega fue completada (SMS-DELIVER-REPORT).

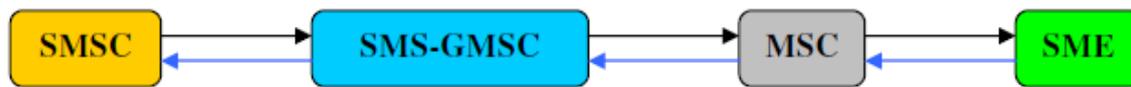


Figura 2.28. Mobile terminated (MT)
Fuente: (Estrada Jimenez & Reinoso Chisaguano, 2009)

2.11.6.2 Punto multipunto

En este tipo, el mensaje es enviado a un conjunto de usuarios. A este tipo corresponde Cell broadcast.

Cell Broadcast permite el envío simultáneo de mensajes de hasta 93 bytes a múltiples usuarios en un área geográfica específica. El destino del mensaje está descrito en términos de identificadores de celda utilizados por la BSC para enrutar el contenido del mensaje a los usuarios de la BTS. (Estrada Jimenez & Reinoso Chisaguano, 2009)

2.11.7 Aplicaciones

Las principales aplicaciones basadas en SMS son:

Mensajes de persona a persona: Los usuarios de telefonía móvil utilizan comúnmente el servicio de mensajería corto para comunicarse con otro usuario móvil de su misma operadora e incluso de una operadora diferente.

Alertas de E-mail: Los SMS permiten notificar al usuario que tiene un nuevo e-mail. Este mensaje usualmente contiene la dirección de quien envía, el título y unas pocas palabras del inicio de E-mail.

Servicios de notificación: Permite el envío de mensajes a ciertos usuarios que constan en una base de datos específica tales como: clientes de compañías de televisión, clubs deportivos, supermercados y otros minoristas, aerolíneas y bancos. Estos mensajes pueden ser publicitarios, o de notificación entre otros.

Servicios de información: Permite enviar al terminal móvil mensajes con pequeños contenidos de información periódica, de un amplio rango como reporte del clima, reportes financieros, información deportiva.

Servicios de localización: Aplicado a la localización de vehículos, integra un sistema de posicionamiento global (GPS). Los datos de longitud y latitud son transferidos a un terminal móvil. El terminal por medio de un SMS envía estos datos a un servidor donde se procesan para indicar la localización actual del vehículo en un mapa geográfico.

Supervisión Remota: El servicio de mensajería corta puede usarse para gestionar máquinas en ambientes de supervisión remota. Esta aplicación proporciona valiosa información sobre el estado o el suceso de algún evento ocurrido sobre la máquina, que el usuario precisa saber.

Comercio electrónico: Se pueden llevar a cabo transacciones financieras a través del terminal móvil, para las cuales será necesario tener convenios con algunas instituciones bancarias.

2.12 Los Comandos AT

El protocolo de comunicación que se utilizó se basa en el uso de los comandos AT. Los comandos AT son instrucciones codificadas que conforman un lenguaje de comunicación entre un Terminal Módem. En un principio, el juego de comandos AT fue desarrollado en 1977 por Dennis Hayes como un interfaz de comunicación con un módem para poder configurarlo y proporcionarle instrucciones, tales como marcar un número de teléfono. Más adelante, con el avance en las distintas velocidades, fueron compañías como Microcomm y US Robotics las que siguieron desarrollando y expandiendo el juego de comandos hasta universalizarlo. Los comandos AT se denominan así por la abreviatura de “Atención”. (Estrada Jimenez & Reinoso Chisaguano, 2009)

Aunque la finalidad principal de los comandos AT es la comunicación con módems, la telefonía móvil GSM también ha adoptado como estándar este lenguaje para poder comunicarse con sus terminales. De esta forma, todos los teléfonos móviles GSM poseen un juego de comandos AT específico que sirva de interfaz para configurar y proporcionar instrucciones a los terminales. Este juego de instrucciones puede encontrarse en la documentación técnica de los terminales GSM y permite acciones tales como realizar

llamadas de datos o de voz, leer y escribir en la agenda de contactos y enviar mensajes SMS, además de muchas otras opciones de configuración.

Queda claro que la implementación de los comandos AT corre a cuenta del dispositivo GSM y no depende del canal de comunicación a través del cual estos comandos sean enviados, ya sea cable serie, canal infrarrojo, Bluetooth, etc. De esta forma, es posible distinguir distintos teléfonos móviles en el mercado que permitan la ejecución de comandos AT o sólo parcialmente. (Godinez Tello, 2011)

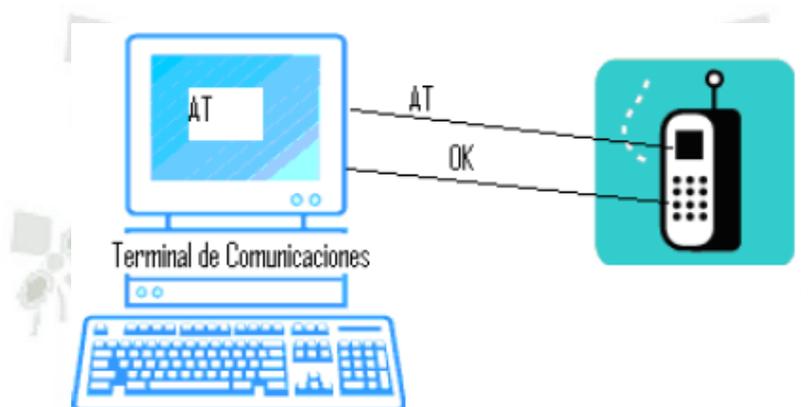


Figura 2.29. Envío de comandos AT
Fuente: (Estrada Jimenez & Reinoso Chisaguano, 2009)

2.12.1 Comandos AT+

Para poder alcanzar varias aplicaciones, fue necesario añadir comandos AT conocidos como AT+.

Algunos de los comandos AT y AT+ más importantes para el manejo de SMS son:

AT+CPMS: Selecciona el lugar de almacenamiento de SMS.

AT+CMGF: Selecciona el formato de los mensajes SMS.

AT+CMGR: Leer un mensaje SMS almacenado.

AT+CMGL: Listar mensajes almacenados.

AT+CMGS: Enviar mensajes SMS. Después de ingresar el número telefónico, se debe esperar un tiempo de aproximadamente 1 segundo a que aparezca el símbolo de > indicando que se debe ingresar el mensaje, luego se escribe la información. Con el carácter ctrl.+Z (ASCII 26) se la envía.

AT+CMGW: Almacenar mensajes en memoria.

AT+CMSS: Enviar un mensaje almacenado.

AT+CSCA: Establecer el centro de mensajes a usar.

AT+CMGD Borra mensajes por índices.

Entre los mensajes principales para configuración del teléfono se puede citar los siguientes:

ATS3: Define carácter para indicar el fin de línea.

ATS4: Define una carácter con el que finaliza la respuesta.

ATE=0 o 1 Desactiva o activa el Eco respectivamente.

ATQ=0 o 1 Desactiva o activa la respuesta del MODEM (OK o ERROR)

ATV Cambia el formato de la respuesta del MODEM de letras a números.

AT+CNMI= 2,1,0,0,0 De esta manera se predispone al teléfono para que cada vez que llegue un mensaje el teléfono informe con el índice en la memoria con el que fue grabado.

A continuación se presenta algunos ejemplos de la ejecución de comandos AT.

El comando AT pregunta si el MODEM se encuentra en el puerto. A lo que el modem le responde OK. (Estrada Jimenez & Reinoso Chisaguano, 2009)



Figura 2.30. Envío de comandos AT
Fuente: (Estrada Jimenez & Reinoso Chisaguano, 2009)

Cualquier comando seguido de una incógnita, implica preguntarle al modem celular si lo soporta. Cualquier comando seguido de un signo igual (=), y de una incógnita implica preguntar qué tipo opciones configurables posee.

CAPITULO III

DESCRIPCIÓN Y CARACTERISTICAS DE DISPOSITIVOS ELECTRONICOS

3.1 Selección del dispositivo de comunicación GSM

Para la selección del dispositivo es importante considerar: la interfaz de comunicación, los protocolos de comunicación, el modo de manejo de datos y la disponibilidad en el mercado. Dentro del mercado peruano se pueden encontrar una gran cantidad de modelos de teléfonos que se ofrecen en cada una de las operadoras de telefonía celular, es importante tomar en consideración que solo ciertas marcas de ellos ofrecen un puerto de comunicación que permita interactuar con un microcontrolador.

3.1.1 Características requeridas de los terminales

Las principales características que se deben considerar para la selección de los terminales son: puerto serial de comunicaciones, capacidad de envío y recepción de mensajes, y protocolo de comunicaciones.

a) Puerto Serial de Comunicaciones

Es necesario que el dispositivo celular posea un puerto de comunicaciones accesible para la aplicación, mediante algún tipo de conector. De igual forma debe existir la suficiente información técnica del dispositivo de manera que no cause ningún tipo de daño en su manipulación. El puerto del dispositivo debe permitir la comunicación bidireccional con el sistema microprocesador y con el computador.

b) Capacidad de envío y recepción de mensajes (Short Message Service)

Uno de los servicios que ofrece GSM es la posibilidad de envío de mensajes SMS. Al elegir un terminal GSM se asegura que tanto el terminal de envío como el de recepción posean la capacidad de enviar y recibir mensajes SMS.

c) Protocolo de comunicaciones

El protocolo de comunicación del terminal debe permitir la comunicación entre el microcontrolador-teléfono y teléfono-computador. Debe ser estandarizado. De acuerdo a los diferentes tipos de marcas de teléfono se ha desarrollado diferentes protocolos de comunicaciones siendo los más utilizados los comandos AT.

3.2 Selección del dispositivo de comunicación Inalámbrica

3.2.1 Tipos de redes inalámbricas

Según su cobertura, se pueden clasificar en diferentes tipos:

- **Wireless Personal Área Network WPAN.:** En este tipo de red de cobertura personal, existen tecnologías basadas en Home RF (estándar para conectar todos los teléfonos móviles de la casa y los ordenadores mediante un aparato central); Bluetooth (protocolo que sigue la especificación IEEE 802.15.1); ZigBee (basado en la especificación IEEE 802.15.4 y utilizado en aplicaciones como la domótica, que requieren comunicaciones seguras con tasas bajas de transmisión de datos y maximización de la vida útil de sus baterías, bajo consumo); RFID (sistema remoto de almacenamiento y recuperación de datos con el propósito de transmitir la identidad de un objeto (similar a un número de serie único) mediante ondas de radio).
- **Wireless Local Area Network WLAN.:** En las redes de área local podemos encontrar tecnologías inalámbricas basadas en HIPERLAN (del inglés, High Performance Radio LAN), un estándar del grupo ETSI, o tecnologías basadas en Wi-Fi, que siguen el estándar IEEE 802.11 con diferentes variantes.
- **Wireless Metropolitan Area Network WMAN:** Para redes de área metropolitana se encuentran tecnologías basadas en WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access, es decir, Interoperabilidad Mundial para Acceso con Microondas), un estándar de comunicación inalámbrica basado en la norma IEEE 802.16. WiMAX es un protocolo parecido a Wi-Fi, pero con más cobertura y ancho de banda. También podemos encontrar otros sistemas de comunicación como LMDS (Local Multipoint Distribution Service).
- **Wireless Wide Area Network WWAN:** Una WWAN difiere de una WLAN (Wireless Local Area Network) en que usa tecnologías de red celular de comunicaciones móviles como WiMAX (aunque se aplica mejor a Redes WMAN), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), GPRS, EDGE, CDMA2000, GSM, CDPD, Mobitex, HSPA y 3G para transferir los datos. También incluye LMDS y Wi-Fi autónoma para conectar a internet. (Velez Arango, 2012)

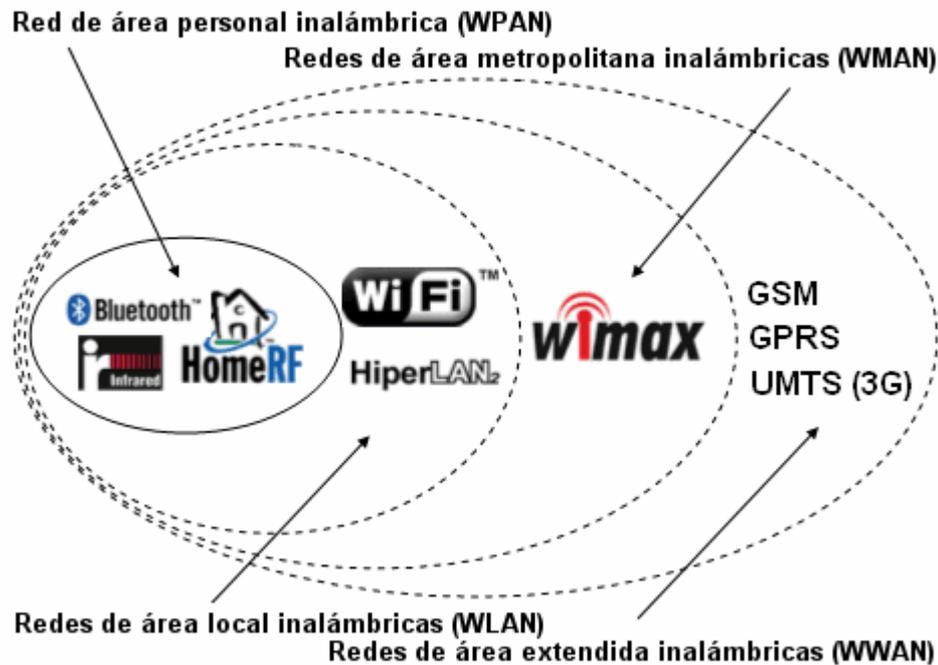


Figura 3.1. Tipos de redes inalámbricas
Fuente: (France24, 2017)

3.2.2 Tipos de módulos inalámbricos:

Entre los principales módulos inalámbricos se pueden enumerar los siguientes:

a) Módulo Xbee

Existen dos tipos de módulos Xbee; los módulos Xbee Serie2 y los módulos Xbee Serie1.

La principal diferencia existente entre ambos es que los de la Serie2 sí permiten hacer redes mesh. Además existen los mencionados Xbee Pro, que permiten mayor alcance y potencia de señal. En lo sucesivo describiremos el funcionamiento y configuración de todos estos módulos (pues es muy similar), sin embargo, nosotros emplearemos módulos Xbee Serie2. (Iraceberu Gonzalez & Goicoechea Fernandez, 2014)

XBee es el nombre comercial del Digi de una familia de módulos de comunicación por radio y están basados en el estándar zigbee, pero digi tiene muchos Xbee y algunos son zigbee estándar y otros son propietarios o modificaciones del estándar. Existen muchos módulos Xbee basados en el estándar IEEE 802.15.4.

Los módulos de radio XBee pueden ser usados con un número mínimo de conexiones: Power (3.3V), GND y TX/RX de la UART, junto con otras conexiones recomendables

como reset y sleep. La mayoría de los módulos XBee tienen otras conexiones como flow control, input/output (I/O), analog-to-digital converter (A/D) and indicator. (Arduino, 2015)

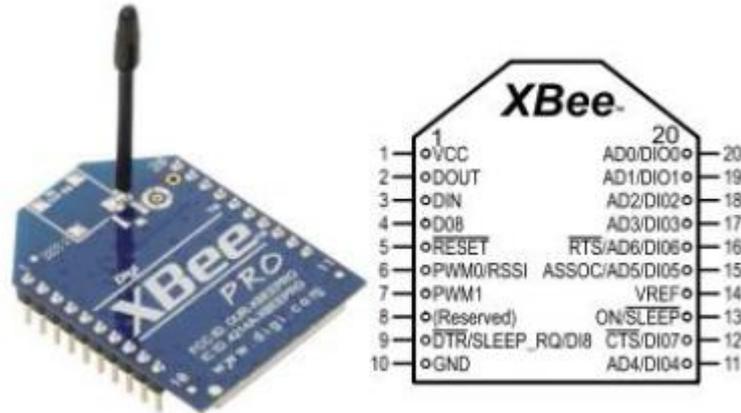


Figura 3.2. Conexiones para el Xbee.
Fuente: (Arduino, 2015)

Los módulos XBee funcionan a 3.3V y los pines no son tolerantes a 5V. Desde Arduino podemos alimentar un módulo XBee, pero la comunicación serie en Arduino es a 5V y en el módulo XBee es a 3.3V. Se puede usar un divisor de tensión como este:

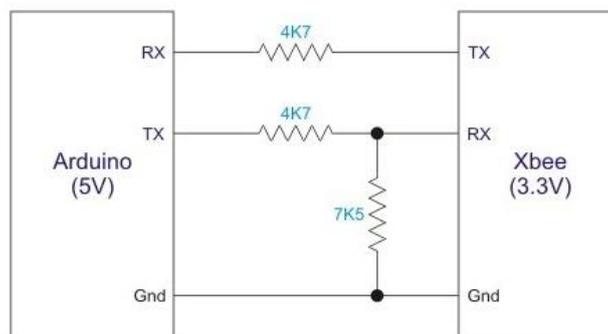


Figura 3.3. Divisor de tensión para alimentar un módulo Xbee con Arduino.
Fuente: (Arduino, 2015)



Figura 3.4. Aplicación para transmitir en tiempo real mensajes por el aire con los módulos XBee.
Fuente: (Arduino, 2015)

b) Módulo HC-05 Bluetooth

El módulo HC-05 es Bluetooth V2. Pero con el tiempo han ido apareciendo módulos como los que conocemos que soportan el protocolo Bluetooth V4.0 o Low Energy al alcance de todos los bolsillos y los fabricantes chinos han empezado a suministrarlos de forma accesible, tales como los modelos HC-06, HC-08 y HC-10.

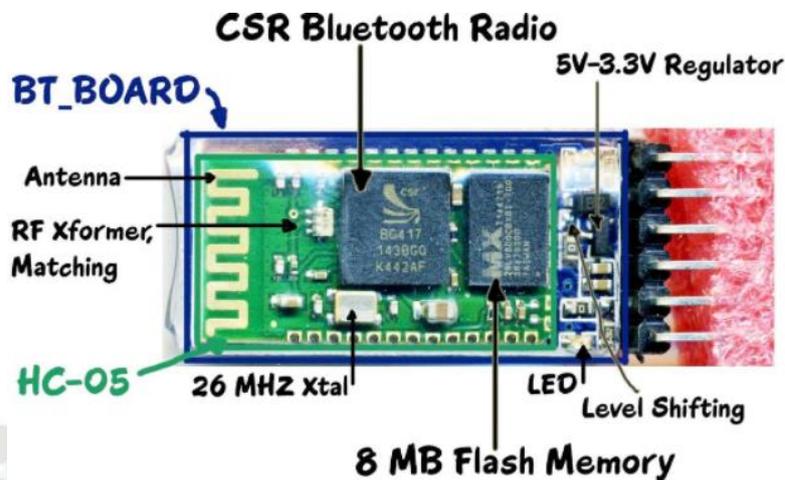


Figura 3.5. Diagrama general del módulo HC-05 Bluetooth
Fuente: (Arduino, 2015)

El módulo HC-05, que puede configurarse tanto como Master que como Slave, y que además dispone de bastante más parámetros de configuración y capacidades de interrogación.

Mientras que el HC-06 entra en modo de programación en cuanto lo enciendes y mientras no haya nadie conectado por Bluetooth, el HC-05 es ligeramente más complicado de colocar en modo comandos y requiere una cierta manera de arrancado, concretamente requiere que el pin KEY, (que no estaba conectado el caso del HC-06) esté en HIGH cuando encendemos el módulo.

Como el módulo HC-05 funciona a 3,3 V hay bastante controversia en internet respecto a si debemos o no, poner divisores de tensión para acceder a los pines del módulo con Arduino. Pero por las pruebas hechas y los tutoriales en principio no es necesario usar un divisor de tensión y los pines son tolerantes a 5V, pero hacerlo bajo vuestra responsabilidad.

Fijarnos que al hacer esta conexión, el LED del módulo HC-05, parpadea continuamente. Esto indica que no está pareado o vinculado. Cuando conectes algo al

módulo, esta luz se quedará fija y es la forma de saber si hay conexión o no. (Arduino, 2015)

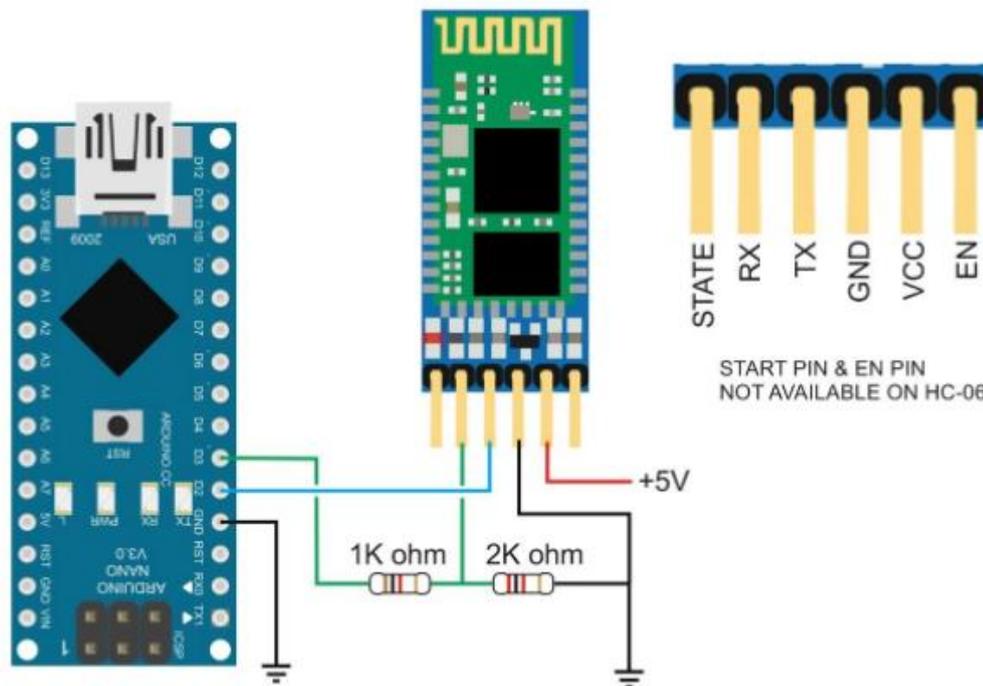


Figura 3.6. Conexión con Arduino
Fuente: (Arduino, 2015)

c) **Módulo ESP8266 Wifi**

El ESP8266 es un chip Wi-Fi de bajo coste con pila TCP/IP completa y capacidad de MCU (Micro Controller Unit) producida por el fabricante chino Espressif Systems, con sede en Shanghai.

El chip primero llegó a la atención de los fabricantes occidentales en agosto de 2014 con el módulo ESP-01. Este pequeño módulo permite a los microcontroladores conectarse a una red Wi-Fi y realizar conexiones TCP/IP sencillas utilizando comandos de tipo Hayes.

El módulo WIFI ESP8266, que es algo muy parecido a los módulos Bluetooth y que al igual que ellos incluye toda la electrónica necesaria para la comunicación Radio Frecuencia en la banda WFI, así como la pila TCP/IP y que se comunica con nosotros a través de un puerto serie. De hecho, exactamente igual que los modos HC-06 y HC-05 se gobierna mediante comandos AT (comandos hayes) y todo por un precio similar al de los Bluetooth.

Las aplicaciones para el módulo WIFI ESP8266, son los siguientes:

- Electrodomésticos conectados.
- Automatización del hogar.
- Automatización de la industria.
- Cámaras IP.
- Redes de sensores.
- IoT (Internet of Things o Internet de las Cosas)
- IIoT (Industrial Internet of Things o Internet de las Cosas para el sector Industrial)

Características

Datos de ESP8266 de datasheet:

- 802.11 b/g/n
- Integrated low power 32-bit MCU
- Integrated 10-bit ADC • Integrated TCP/IP protocol stack
- Integrated TR switch, balun, LNA, power amplifier and matching network
- Integrated PLL, regulators, and power management units
- Supports antenna diversity
- WiFi 2.4 GHz, support WPA/WPA2
- Support STA/AP/STA+AP operation modes
- Support Smart Link Function for both Android and iOS devices
- SDIO 2.0, (H) SPI, UART, I2C, I2S, IR Remote Control, PWM, GPIO
- STBC, 1×1 MIMO, 2×1 MIMO
- A-MPDU & A-MSDU aggregation & 0.4s guard interval
- Deep sleep power <10uA, Power down leakage current < 5uA
- Wake up and transmit packets in < 2ms
- Standby power consumption of < 1.0mW (DTIM3) • +20 dBm output power in 802.11b mode
- Operating temperature range -40C ~ 125C
- FCC, CE, TELEC, WiFi Alliance, and SRRC certified

EL ESP8266 no tiene ROM y usa una ROM externa SPI y soporta hasta 16MB.

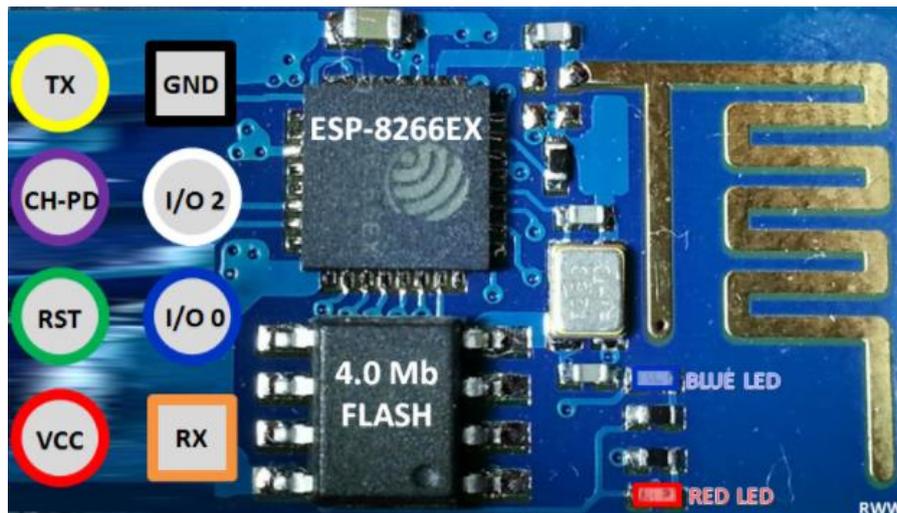


Figura 3.7. Diagrama general del módulo ESP8266 Wifi
Fuente: (Arduino, 2015)

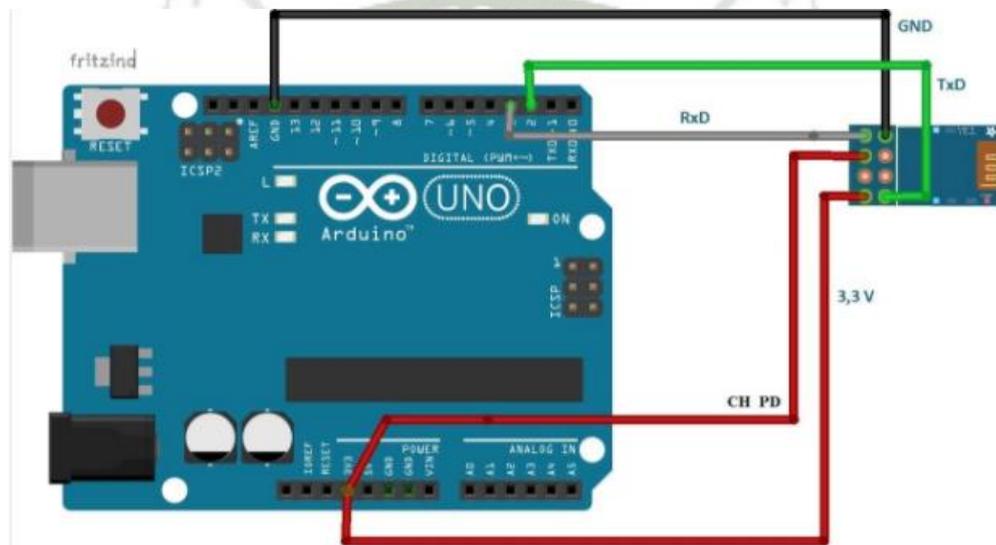


Figura 3.8. Conexión con Arduino
Fuente: (Arduino, 2015)

3.3 Selección de los sensores a utilizarse

3.3.1 Transductores y Sensores

Un transductor es un dispositivo que convierte una señal de un tipo a otro, es decir convierte una magnitud en otra que resulte más apta para el análisis de un fenómeno físico. Los seis tipos de señales más usuales en el control industrial son: mecánicas, térmicas, magnéticas, eléctricas, ópticas y moleculares. El transductor sirve para convertir un tipo de señal en otro, y por lo general suele convertir cualquier señal en eléctrica, esto por el tipo de aplicaciones industriales que se les da. Un transductor ideal es aquel que para producir su señal de salida no disminuye la energía de la señal de entrada, pero en la práctica esto no se da, por lo que es importante que el transductor consuma la menor energía de la señal de entrada para que altere en lo menos posible el fenómeno físico estudiado. Existen varias ventajas para emplear

transductores que conviertan las diversas señales físicas en señales eléctricas, entre ellas está el hecho de que es fácil realizar distintos transductores que conviertan cualquiera de las señales no eléctricas en señales eléctricas. Lo anterior permite extraer poca energía del sistema para medir una variable, esto porque las señales eléctricas pueden ser fácilmente amplificadas. También es una razón válida el hecho de que además de los dispositivos de amplificación existen gran variedad de dispositivos eléctricos para acondicionar o modificar las señales eléctricas como lo son los diversos circuitos integrados que ya traen dentro de su encapsulado el respectivo transductor. Finalmente una de las mayores ventajas de emplear transductores que conviertan las distintas señales en señales eléctricas es la facilidad con que estas se pueden transmitir, pues resulta mucho más sencillo transmitir que señales mecánicas o hidráulicas. Además existen muchos medios para almacenar, registrar, procesar y presentar la información electrónica. Comúnmente se emplea transductor y sensor como sinónimos, pero en realidad un sensor es aquel dispositivo que permite percibir cantidades físicas que no son tan fáciles de percibir y produce una salida transducible, donde la salida del sensor es función de la variable a medir, en cambio un transductor es un medio donde la salida y la entrada no son señales homogéneas, aunque una es función de la otra, estas no son iguales. Generalmente se amplía el término sensor para referirse al transductor de entrada y actuador para referirse al transductor de salida. (Rojas, 2008)

Item	Specification	Item	Specification
Input Power	115VAC or 230VAC, 50/60Hz 24VDC (Nominal)	Enclosure Environment Rating:	NEMA 4
Output type	5A DPDT	Conduit Connection	¾" NPT
Accuracy	0.5% of set point – 50°F range	Stability	Temperature compensated over entire range
Set point Range- Liquids	0.01 to 5 feet/sec.	Ambient Temperature Range	-40°F to 140°F (-40°C to 60°C)
Gases	0.1 to 500 feet/sec.	Process Temperature Range	-100°F to 392°F
Repeatability	±1.0% of set point	Process Pressure Range	Vacuum to 3000 psig
Response Time	0.5 to 10 seconds		
Sensor Length	2" to 120"		
Process Connection: ?????			

Figura 3.9. Criterios de especificaciones técnicas para elegir sensores.

Fuente: (Rojas, 2008)

3.3.2 Medidor de PH - Potencial de Hidrogeno

Un medidor de pH es un dispositivo electrónico utilizado para medir el pH (acidez o alcalinidad) de un líquido (aunque sondas especiales se utilizan a veces para medir el pH de las sustancias semisólidas). (La Rosa & Vargas Trujillo, 2013)

Se da en el mercado una gran variedad de tipos de medidores de pH, que van desde dispositivos de mano muy baratos hasta complejos modelos de laboratorio.

La sonda de pH mide la actividad de los iones de hidrógeno mediante la generación de una pequeña cantidad de tensión en el sensor y el tubo de referencia. El medidor de voltaje convierte a un valor de pH y la muestra en la pantalla digital, permitiendo así la cómoda medición de cualquier líquido o suelo. (medidordepH.com, 2017)

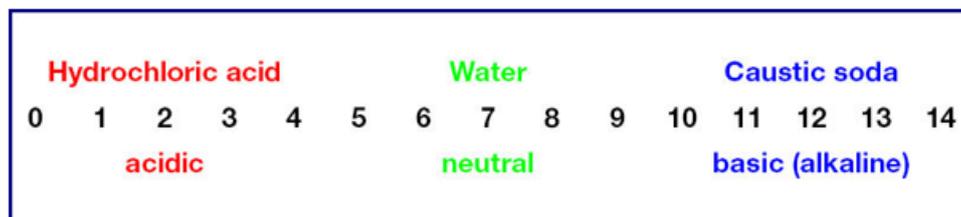


Figura 3.10. Valores típicos de PH.
Fuente: (medidordepH.com, 2017)

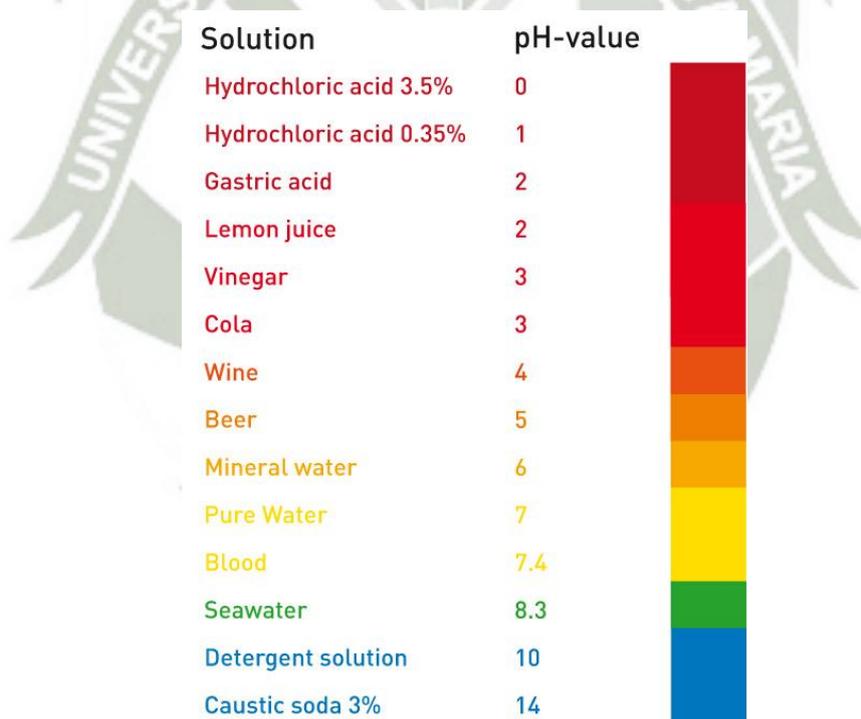


Figura 3.11. Comparaciones de sustancias con valores típicos de PH
Fuente: (medidordepH.com, 2017)

Las tecnologías disponibles para la medición de pH pueden clasificarse en dos grandes grupos: Electroquímicos y ópticos.

a) Sensores electroquímicos

Son aquellos que utilizan dispositivos que translucen la actividad química del ión de hidrógeno en una señal eléctrica.

Ise (electrodos de ion selectivo)

Pueden pensarse como una "celda electroquímica", donde uno de sus electrodos es la referencia y el otro se inserta en la solución a la cual se le quiere medir el pH. Ese segundo electrodo cuenta con una membrana, que para el caso del pH, es sensible al ión hidrógeno.

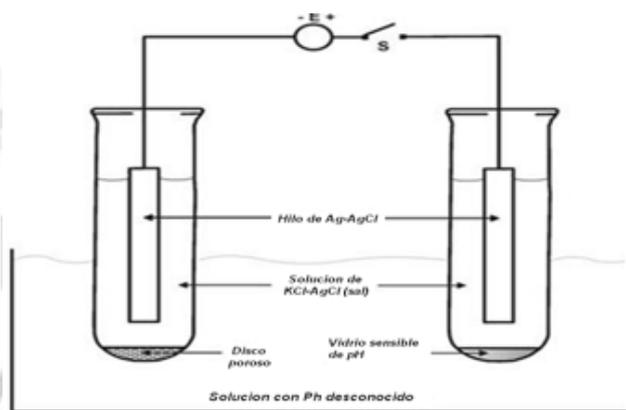


Figura 3.12. Electrodo de Ion selectivo
Fuente: (Baeza, 2015)

El sensor de pH de vidrio

Su uso está ampliamente generalizado y sus resultados ampliamente validados, al punto que el patrón de la medida de pH se basa en un electrodo de vidrio. El electrodo entra en contacto con el analito a través de una membrana de vidrio sensible al ión hidrógeno. Las características de esta membrana hacen que el sensor tenga una resistencia de salida muy grande (decenas o centenas de M Ω) y sea necesario mantenerlo húmedo. Logran una precisión muy buena (0,01) y tienen tiempos de vidas relativamente cortos (1 año). Los costos varían entre 30 y 300 dólares. (Ciganda, 2004)

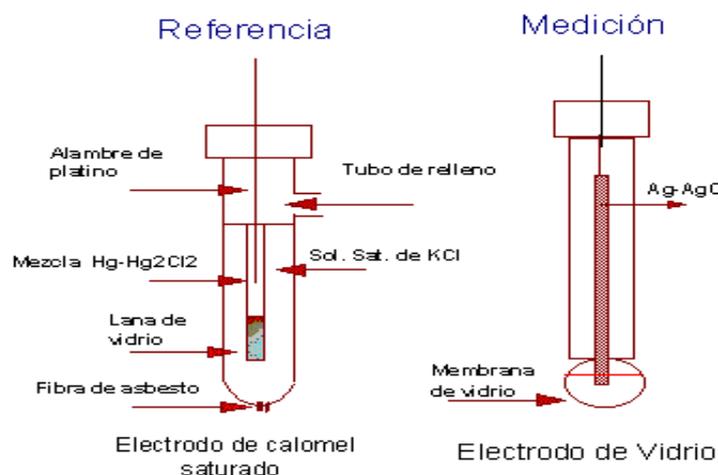


Figura 3.13. Sensor de PH tipo vidrio
Fuente: (Ciganda, 2004)

Los electrodos de membrana líquida

Son sensores cuyos electrodos son de membrana líquida donde la superficie sensible de estos electrodos está hecha de una composición homogénea de polímero que contiene un intercambiador iónico de naturaleza orgánica para el ión determinado. Estos sensores incorporan un módulo de membrana fácilmente reemplazable, y están disponibles para mediciones de nitratos, potasio y calcio. Este tipo de membrana no es tan resistente como la de los sensores de estado sólido por lo que son diseñados con un módulo de membrana fácilmente reemplazable. (OCUM, 2013)

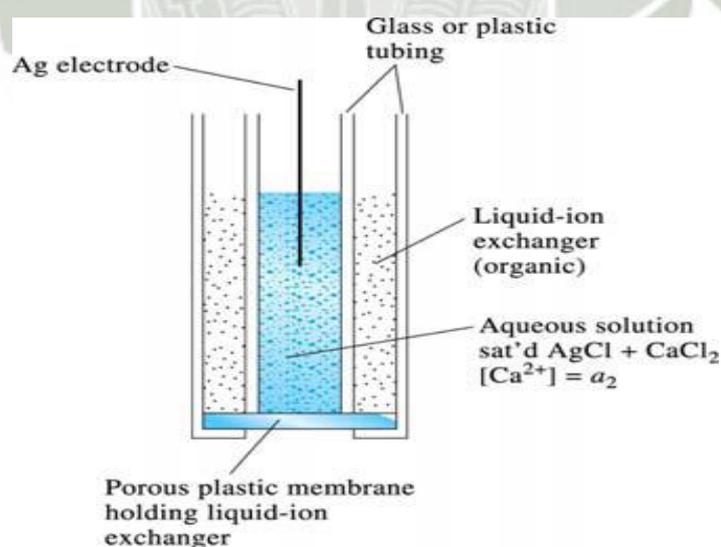


Figura 3.14. Electrodo de membrana líquida
Fuente: (OCUM, 2013)

Los electrodos de estado sólido

Consisten en metales cuya superficie está recubierta parcialmente por una capa de óxido del mismo metal. Entre ellos, el más utilizado es el electrodo de antimonio. Es resistente, adecuado para el registro continuo y operaciones de control. Su intervalo de utilización es de pH 2 a 8. Otros electrodos metal-óxido metálico bastante utilizados son los de telurio, tungsteno, y molibdeno.

Sensores de PH sin vidrio: Mosfet (transistor de efecto de campo metal-óxido semiconductor)

Un Transistor de Efecto de Campo consiste en un semiconductor con 3 conexiones eléctricas:

La región entre la fuente y el drenaje es normalmente un aislante. Basado en el potencial aplicado a la compuerta, este resistor se hace continuamente conductivo a las cargas (potenciales), causando una carga equivalente (pero opuesta) del lado del semiconductor. Si se aplica una diferencia de potencial, se genera una corriente entre la fuente y el drenaje. Esta corriente es directamente proporcional a la carga en la compuerta. (Ciganda, 2004)

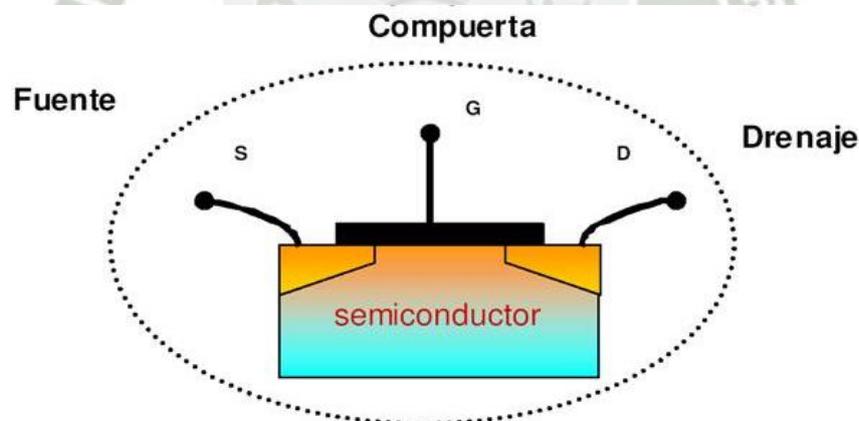


Figura 3.15. Diagrama de un semiconductor con 3 conexiones eléctricas
Fuente: (Ciganda, 2004)

La estructura física de un MOSFET se muestra en la figura 3.16. En este caso, el sustrato es silicio dopado tipo p y tanto la fuente S como el drenador D están formados por silicio tipo n fuertemente dopado. La puerta es un metal que al ser polarizado respecto al sustrato crea un campo eléctrico que polariza a su vez al óxido e incrementa la densidad de portadores minoritarios n en la región que separa a S y D (canal de inversión) permitiendo el paso de la corriente desde la fuente al drenador IDS.

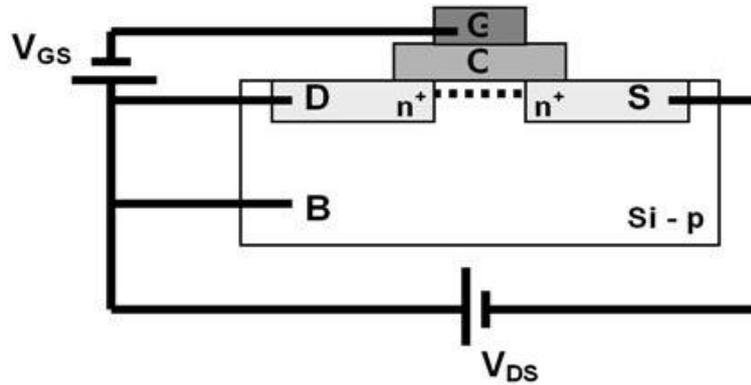


Figura 3.16. Estructura de un MOSFET: G-gate, O-óxido de compuerta, D-drenador, S-fuente, B-sustrato.
Fuente: (Ciganda, 2004)

b) Sensores de tipo isfet (transistor de efecto de campo por ión selectivo)

El ISFET fue propuesto por primera vez en 1970. Su principio de operación es similar al de transistor MOS. A diferencia de este, el ISFET no posee una compuerta metálica y el dieléctrico de esta misma región se expone directamente al analito. Es decir, utilizan como principio de medida la modulación del canal del transistor mediante la diferencia de tensión que se establece entre el analito y la puerta del dispositivo. La tensión de salida del transistor es función del pH de la disolución.

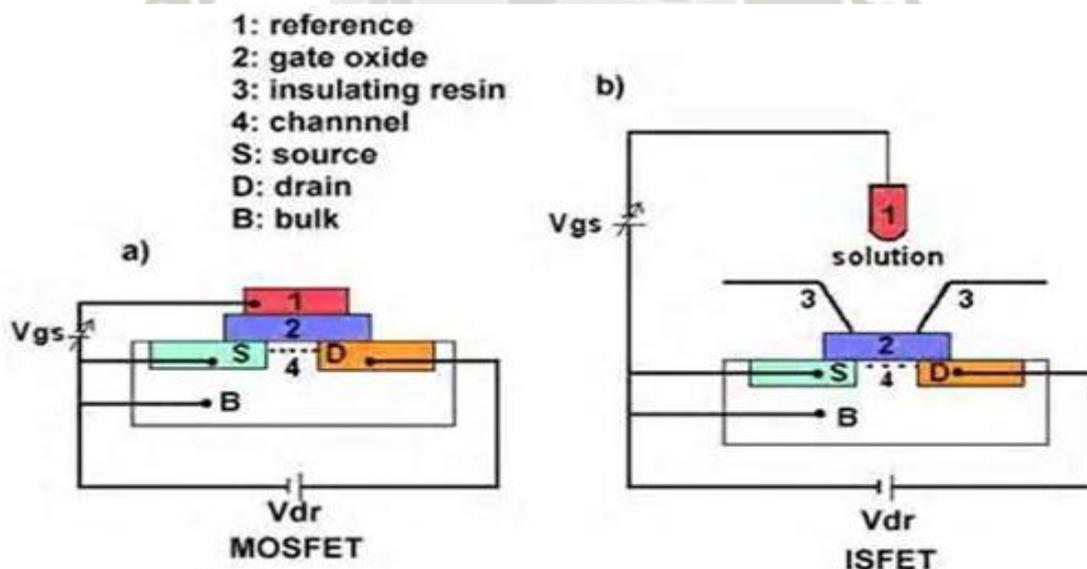


Figura 3.17. Diferencias y similitudes entre a) MOSFET y b) ISFET.
Fuente: (Ciganda, 2004)

En el caso del ISFET, el puerto es reemplazado por el analito y la capa de SiO₂ entra en contacto directo con el analito. La parte metálica del electrodo de referencia puede ser considerada con la puerta del MOSFET (ver figura 3.17a).

En los ISFETs, la corriente I_D fluye a través del canal. Como en los MOSFET la resistencia del canal depende del campo eléctrico perpendicular a la dirección de la corriente. También depende del voltaje a través de la capa de SiO_2 . Por lo tanto la corriente I_D , depende del potencial de interfaz que se desarrolla entre el óxido y el analito.

El SiO_2 , utilizado como aislante en la construcción del MOSFET, no es la mejor elección cuando se trata de ISFET ya que parte de su funcionamiento depende de la respuesta del SiO_2 al pH; en este caso se utilizan Al_2O_3 , Si_3N_4 y Ta_2O_5 cuyas propiedades químicas en lo que a ello refiere resultan más convenientes. (Miro Vicente & Suañe Tarruella, 2010)

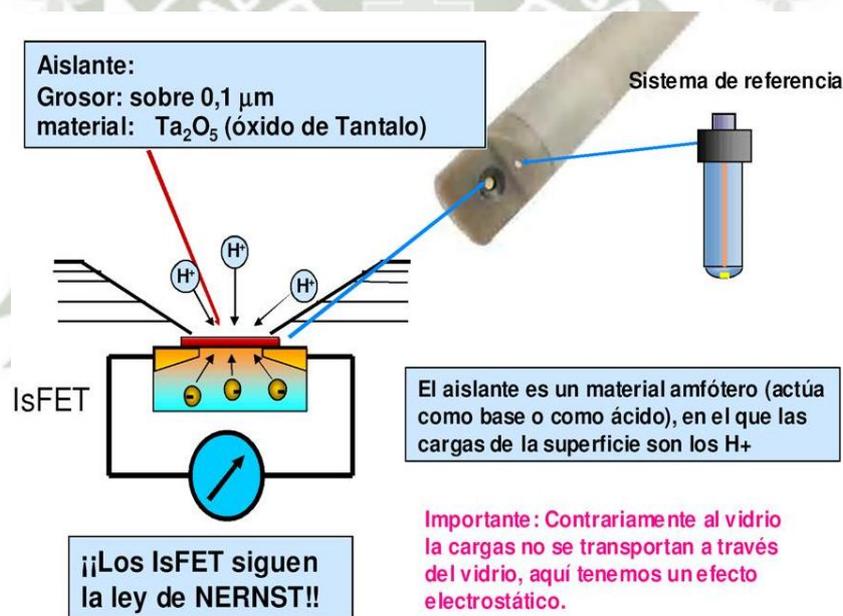


Figura 3.18. Funcionamiento del sensor tipo Isfet
Fuente: (Miro Vicente & Suañe Tarruella, 2010)

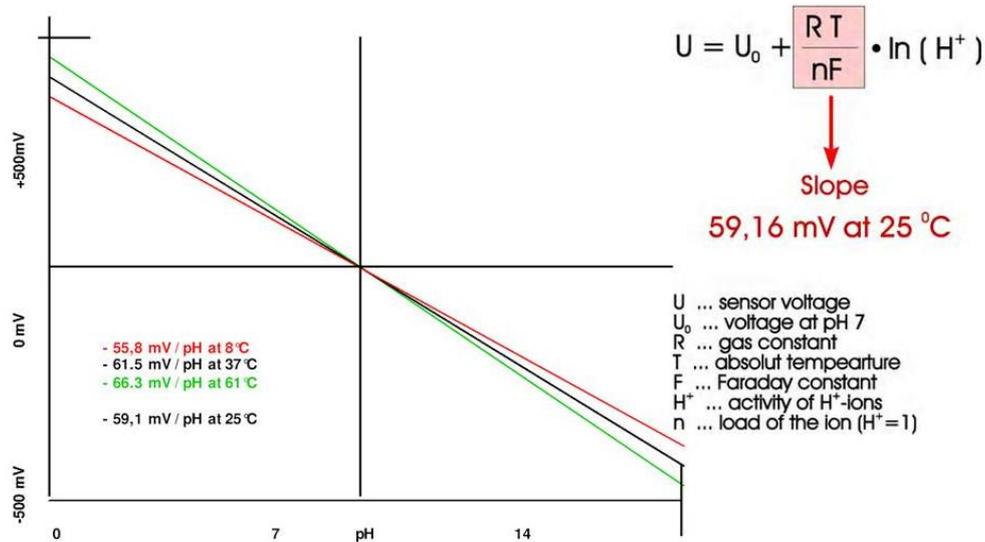


Figura 3.19. Los ISFETs siguen la ecuación de Nernst
Fuente: (Miro Vicente & Suañe Tarruella, 2010)

El sensor de ISFET en contraposición con el de vidrio es mucho más chico (algunos pocos mm²).

Son sensibles a la luz. Este fenómeno está vinculado a la ausencia de un metal sobre el dieléctrico de la puerta del ISFET, y también, al hecho de que a la hora de encapsularlo se deja al descubierto tanto parte de las difusiones como la puerta selectiva a iones que está en contacto con la solución a analizar.

Los ISFETs presentan una inestabilidad térmica que se traslada a las medidas. Generalmente es necesario que el sensor funcione a temperatura constante para lograr resultados confiables.

Uno de los problemas importantes que afectan a los ISFETs es el de la deriva temporal de la señal de respuesta. Si bien se han realizado trabajos para estimarla y corregirla sigue siendo un problema abierto. (Miro Vicente & Suañe Tarruella, 2010)

c) Sensores ópticos

Estos sensores se basan en "indicadores ópticos" de pH que cambian sus propiedades ópticas en función del analito. Dependiendo de la propiedad óptica que cambia, los sensores pueden clasificarse en: sensores de absorbancia o luminiscencia. En los sensores de absorbancia la relación entre intensidad de la luz incidente y la luz reflejada están en directa relación con el valor del pH de la muestra. En los sensores de

luminiscencia la dependencia con el pH viene dada por el cambio en la longitud de onda entre la luz incidente y la reflejada.

Los sensores de fibra óptica consisten en un indicador inmovilizado, cuyas propiedades ópticas se modifican en función de la concentración de analito presente en la muestra.

La señal óptica así generada es conducida a continuación a través de una fibra óptica hasta un detector, para más tarde ser amplificada y procesada convenientemente.

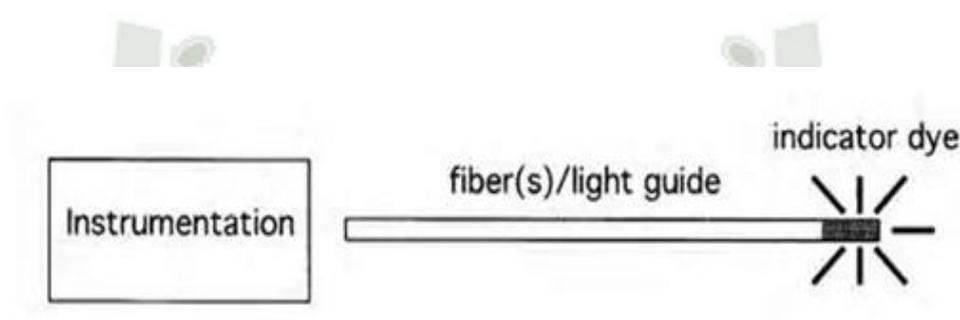


Figura 3.20. Esquema de un sensor óptico
Fuente: (Miro Vicente & Suañe Tarruella, 2010)

Los sensores de fibra óptica no requieren señal de referencia, esto aumenta la estabilidad de la medida y reduce los costos de fabricación.

La utilización de fibras ópticas de baja pérdida como guías de luz posibilita la medida a grandes distancias. Además, pueden transmitir mucha más información que los cables eléctricos, debido a su mayor ancho de banda. La flexibilidad de las guías de luz, junto a la separación física que estas introducen entre el terminal sensible y el transductor y el hecho de que soportan medios hostiles como la presencia de radiaciones electromagnéticas o ionizantes, condiciones extremas de temperatura o el ataque de ácidos o bases presentes en las muestras, posibilitan la utilización de los optrodos en multitud de procesos industriales.

La señal óptica detectada por el equipo de medida debe proceder única y exclusivamente del indicador. Por este motivo, debe evitarse la exposición del terminal sensible a la luz ambiente, o bien modular la señal procedente del indicador con objeto de poder diferenciarla de la luz externa. (Miro Vicente & Suañe Tarruella, 2010)

Tabla 3.1. Comparación de Sensores

	Omega PHE-7353	Fraunhofer	Ocean Optics
Tipo de sensor	Vidrio	ISFET	Fibra optica
Rango pH	0 a 14	1 a 12	6.5 a 12
Rango temperatura °C	0 a 80	-10 a 75	0 a 220
Rango presión (psi)	0 a 100	7 a 145	0 a 100
Presión	0.1 % sobre fondo de escala	0.02	s/d
Impedancia de salida	150M	s/d	s/d/
Tiempo de respuesta (s)	10	60	s/d
Deriva (uV/hora)	12	80	s/d
Dimensiones (mm)	152 (L)x22(D)	3.5x3.5	108 (L)x 3D
Compensación de temperatura	Pt100 incluida	Pt1000	NC
Mantenimiento	Húmedo	Seco	Seco
Costo (U\$D)	150	s/d	990

(Oreggioni, 2006)

d) Calibración del Sensor de PH

La única manera segura de determinar si un medidor de pH se calibra adecuadamente es comparándolo con un punto de referencia de laboratorio con certificación estándar, conocido más comúnmente como una "solución calibradora." Las soluciones calibradoras son líquidos, pero también se pueden comprar en forma de polvo y mezclar con agua destilada o desionizada.

Cualquier instrumento científico se debe calibrar lo más cerca posible al nivel que se pondrá a prueba. Si la prueba de un rango, el medidor debe ser calibrado en el medio de ese rango. Por ejemplo, si la prueba de una solución ácida, un medidor de pH se debe calibrar a pH 4,0 para alcanzar los resultados más precisos. La mayoría de las aguas caen en el rango de pH 6,0 a pH 8,0. Por lo tanto, para probar el pH del agua, la calibración del medidor de pH 7,0 es suficiente. Los tres niveles de pH más comunes

para la calibración son 4.01, 7.01 y 10.01. Estos puntos cubren el rango de pH de 0 a 14, pero los valores están disponibles.

Infórmate de la manera de calibrar los medidores de pH para que se dé en ellos un buen funcionamiento:

Un medidor de pH, ya sea analógico o digital, ha de ser calibrado, que dicha calibración es, generalmente un proceso simple.

La calibración analógica se realiza mediante el uso de un destornillador pequeño para ajustar la lectura hasta que coincida con el valor de la solución calibradora.

La calibración digital se hace pulsando botones arriba y abajo hasta que la lectura coincida con el valor de la solución calibradora. Un medidor de pH digital también puede tener la calibración analógica.

Muchas marcas de medidores de pH vienen calibrados de fábrica y listos para usar nada más sacarlos de la caja. Sin embargo, la calibración de fábrica sólo se debe considerar una conveniencia para unos pocos usos, ya que la calibración podría cambiar durante el transporte, y puede que no sea la más adecuada para nuestras necesidades. Además como comentamos con anterioridad, todos los medidores de pH han de ser recalibrados en algún momento.

Para obtener unos mejores resultados tendremos que calibrar nuestro medidor al menos una vez por semana si lo utilizamos con regularidad, una vez al mes si no se le da casi uso, en caso de que pensemos que las lecturas están siendo incorrectas, si solemos utilizarlo para líquidos muy ácidos o básicos, si lo introducimos en líquidos que cambian de básicos a ácidos con brusquedad, y por último cada vez que se sustituya el electrodo.

Con frecuencia, la instrumentación es la fuente de disturbios en los sistemas de pH, causados por repetitividad, error, ruido de medición o histéresis de la válvula. (medidordepH.com, 2017)

3.3.3 Medidor de Temperatura

El control de temperatura en un invernadero es de lo más importante debido a que es la de mayor influencia en el desarrollo y crecimiento de los cultivos, ya que estos vienen limitados en base a que temperaturas máximas y mínimas pueden soportar para lograr su desarrollo. En la actualidad hay muchas formas de medir la temperatura con todo tipo de sensores de diversas naturalezas. (Chafra Ruiz & Monta Guatapi, 2016)

1. Termocupla

Las termocuplas son los sensores de temperatura eléctricos más utilizados en la industria. Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo, al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño, del orden de los milivolts el cual aumenta con la temperatura. Este sería un esquema de ejemplo de una termocupla cualquiera.

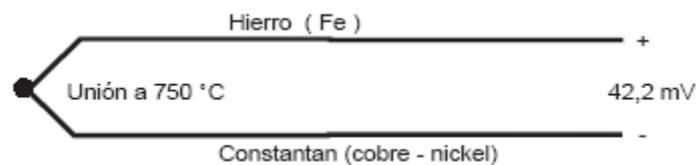


Figura 3.21. Estructura básica del medidor
Fuente: (Bausa Araganes, y otros, 2015)

Estos dispositivos suelen ir encapsulados en vainas, para protegerlos de las condiciones extremas en ocasiones del proceso industrial que tratan de ayudar a controlar, por ejemplo suele utilizarse acero inoxidable para la vaina, de manera que en un extremo está la unión y en el otro el terminal eléctrico de los cables, protegido adentro de una caja redonda de aluminio (cabezal). Además según la distancia a los aparatos encargados de tratar la pequeña señal eléctrica de estos transductores, también deben utilizarse cables compensados para transportar esta señal sin que la modifique o la modifique de una manera fácilmente reconocible y reversible para los dispositivos de tratamiento de la señal. También se da el caso de que los materiales empleados en la termocupla como el platino puro, hagan inviable económicamente extender la longitud de los terminales de medición de la termocupla. (Bausa Araganes, y otros, 2015)

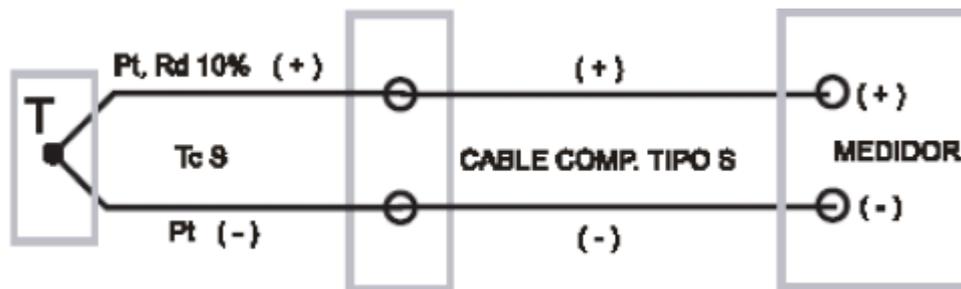


Figura 3.22. Esquema de conexión de cable compensado y termocupla
Fuente: (Bausa Araganes, y otros, 2015)

Las termocuplas podrían clasificarse atendiendo a varios criterios como material del que están construidas, su tolerancia o desviación, entre otros.

Las Termocuplas estándar:

Hay siete tipos de termocuplas que tienen designaciones con letras elaboradas por el Instrument Society of America (ISA). El U.S. National Bureau of Standardg (NBS), por su parte, ha preparado tablas de correlación temperatura fem para estas termocuplas, las que han sido publicadas por el American National Standards Institute (ANSI) y el American Society for Testing and Materials (ASTM).

Composición, rango de temperaturas, diámetros de alambre apropiado y fuerzas electromotrices (fem) correspondientes a distintas termocuplas.

Los valores entre paréntesis son los admitidos en intervalos cortos (no permanentes)

(2) Los diámetros de alambres no son indicativos

(3) Valores de fem (mV) en función de ° C, referencia junta fría 0° C.

Tabla 3.2. Tipo de termocuplas estándar

Tipo	Denominación	Composición y símbolo	Rango de temperaturas (1)	Diámetro del alambre apropiado (2)	F.e.m en mv (3)
B	Platino rodio 30% vs platino rodio 6%	PtRh 30 %- PtRh 6 %	0...1.500 (1.800)	0.35 y 0.5 mm	0...10.094 (13.585)
R	Platino rodio 13% vs platino	PtRh 13 %- Pt	0...1.400 (1.700)	0.35 y 0.5 mm	0...16.035 (20.215)
S	Platino rodio 10% vs platino	PtRh 10 %- Pt	0...1300 (1.600)	0.35 y 0.5 mm	0...13.155 (15.576)
J	Hierro vs Constatan	Fe-CuNi	-200...700 (900)	3 mm 1 mm	-7.89..39.130 (51.875)
K	Niquel-cromo vs niquel (Chromel vs Alumel)	NiCr-Ni	0..1000(1.300) 0...900 (1.200)	3 o 2 mm 1.38 mm	0.41.269 (52.398) 0..37.325 (48.828)
T	Cobra vs constatan	Cu-CuNi	-200..700 (900)	0.5 mm	-5.6..14.86 (20.86)
E	Niquel-cromo vs constatan (Chromel vs constatan)	NiCr-CuNi	-200..600 (800)	3 mm	-9.83..53.11 (68.78) -8.83..45.08 (61.02)

(Alvarez, 2012)

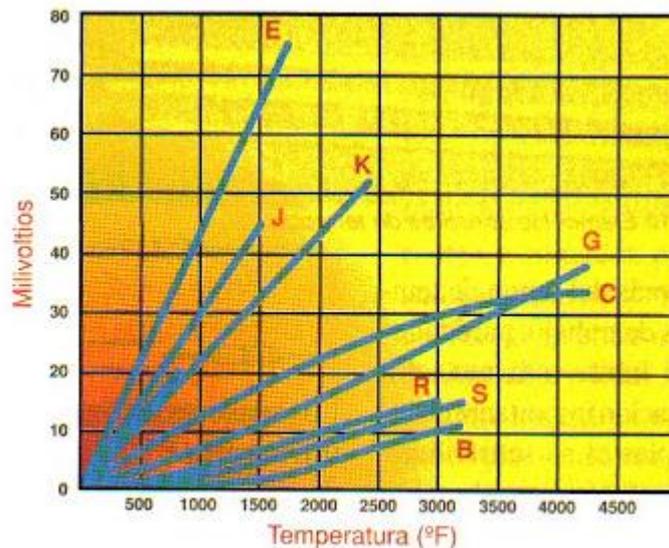


Figura 3.23. Curvas de respuesta característica de termocuplas
Fuente: (Araya, 2015)

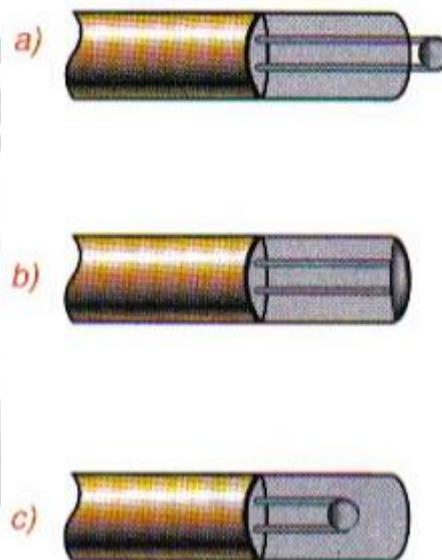


Figura 3.24. Tipos de uniones de Termocupla a. Unión expuesta, b. Unión aterrizada, c. Unión no aterrizada
Fuente: (Araya, 2015)

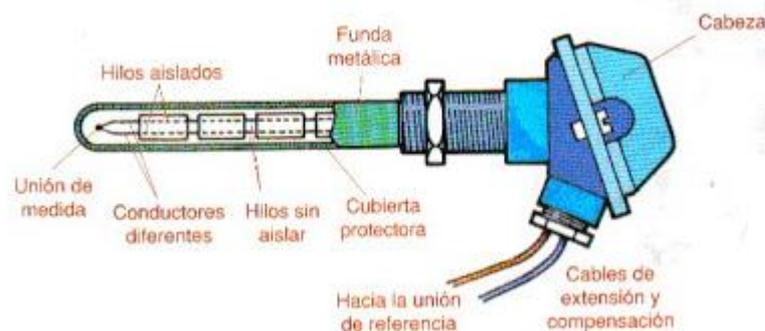


Figura 3.25. Partes de una termocupla industrial
Fuente: (Araya, 2015)

Las Termocuplas no estándar:

Hay muchos otros materiales que se utilizan para construir termocuplas además de aquellos que tienen asignada una denominación con letra por la ISA (IEC). Estas otras termocuplas exhiben características especiales que no se encuentran en los tipos estándar, lo cual las hace adecuadas para aplicaciones especiales. Hay una aleación en particular, que debemos considerar por separado. Se trata de la aleación hierro-constantán Fe - CuNi.

2. Termistores

Mucho más económicos que las RTD son los termistores, aunque no son lineales son muchas más sensibles, compuestas de unas mezclas sintetizadas de óxidos metálicos, el termistor es esencialmente un semiconductor que se comporta como un "resistor térmico". Se pueden encontrar en el mercado con la denominación NTC (Negative Temperature Coefficient) habiendo casos especiales de coeficiente positivo cuando su resistencia aumenta con la temperatura y se los denomina PTC (Positive Temperature Coefficient).

En algunos casos, la resistencia de un termistor a la temperatura ambiente puede disminuir en hasta 6% por cada 1°C de aumento de temperatura. Esta elevada sensibilidad a variaciones de temperatura hace que el termistor resulte muy adecuado para mediciones precisas de temperatura, utilizándose ampliamente para aplicaciones de control y compensación en el rango de 150°C a 450°C.

Los termistores sirven para la medición o detección de temperatura tanto en gases, como en líquidos o sólidos. A causa de su muy pequeño tamaño, se los encuentra normalmente montados en sondas o alojamientos especiales que pueden ser específicamente diseñados para posicionarlos y protegerlos adecuadamente cualquiera sea el medio donde tengan que trabajar. (Bausa Araganes, y otros, 2015)

3. Termómetros infrarrojos

Los sensores de temperatura infrarrojos (IR), denominados también pirómetros de radiación, son dispositivos de no contacto que miden indirectamente la temperatura de cuerpos calientes a partir de la radiación térmica emitida en forma natural por los

mismos. Se utilizan en los casos en los cuales resulta imposible o peligroso el uso de un termistor, una termocupla u otro tipo de sensor de contacto. Es el caso, por ejemplo, de procesos industriales donde se manejan temperaturas muy superiores a las del punto de fusión del transductor, de cuerpos calientes muy pequeños, inaccesibles o en movimiento, de atmósferas de alto voltaje o que deben permanecer libres de contaminación, etc. (Araya, 2015)



Figura 3.26. Termómetro de no contacto basado en un sensor IR
Fuente: (Araya, 2015)

Los sensores IR están basados en el concepto de que todos los cuerpos, a temperaturas por encima del cero absoluto (-273.5°C), producen radiación térmica en cantidad dependiente de su temperatura y sus propiedades físicas. Esta energía se incrementa a medida que el objeto se torna más caliente. Los cuales miden la energía emitida, reflejada y transmitida.

En los sensores IR prácticos la energía emitida, que es la que indica realmente la temperatura de un objeto, se captura mediante un detector apropiado, precedido de un sistema óptico, se amplifica y procesa mediante circuitos electrónicos. (Araya, 2015)

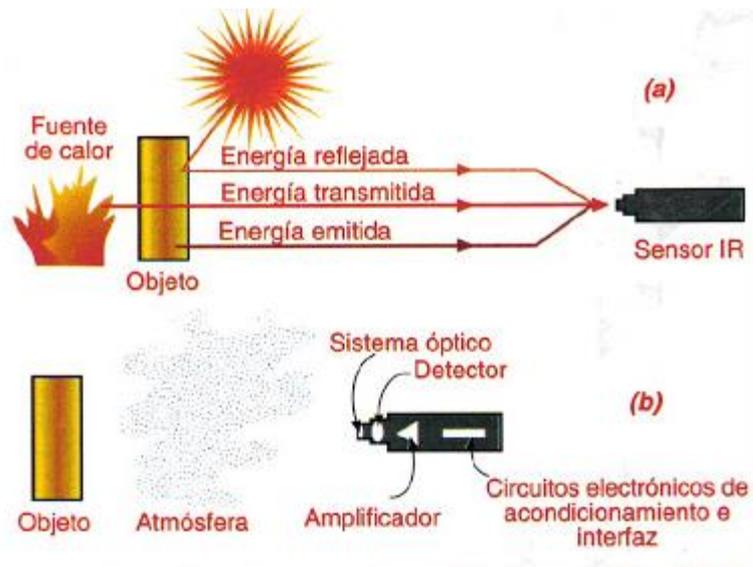


Figura 3.27. Los sensores de temperatura IR leen la energía reflejada, transmitida o emitida desde un objeto. Únicamente la energía emitida indica la temperatura del mismo. (a) Principio de funcionamiento. (b) Estructura funcional
Fuente: (Araya, 2015)

La función de la óptica es concentrar la energía y limitar la influencia de la radiación proveniente de otras fuentes distintas del objeto bajo medida. Esta es la parte más crítica del sistema y la que determina el campo de vista (FOV) de la unidad.

El detector, por su parte, se encarga de convertir la energía IR a una variable eléctrica medible, es decir un voltaje, una corriente o una resistencia equivalente. Incluye típicamente un filtro espectral para limitar la energía a una banda estrecha.

El amplificador debe resolver y amplificar las débiles señales de salida enviadas por el detector, las cuales pueden ser, por ejemplo, del orden de $1 \text{ mV}/^\circ\text{C}$. Una vez obtenida una señal estable y manejable, la misma debe ser linealizada, es decir convertida en una función lineal de la temperatura y representada como una corriente de 4-20 mA, un voltaje de 0-5 V, una señal digital, etc.

Actualmente se dispone también de sensores de temperatura IR inteligentes, los cuales pueden ser programados para comunicarse entre sí y con computadoras en una planta de manufactura. De este modo se facilita el direccionamiento, la configuración, la actualización y el mantenimiento de las unidades desde sitios remotos durante su instalación y operación. (Araya, 2015)

4. Termoresistencias

Los sensores de temperatura conocidos como termorresistencia tienen como principal característica que varían su valor óhmico según la temperatura a la que se encuentren.

Sin embargo no es ésta la única singularidad con la que cuenta; dispone de otras tan interesantes como:

- Su capacidad de combinarse con todo tipo de cabezas o terminaciones; particularidad que les permite adaptarse a cualquier necesidad del cliente.
- Disponen de diversos rangos de temperatura de operación. En algunos modelos la salida analógica se puede encontrar incluso entre 4-20mA.
- Pueden venir con 2, 3 o 4 hilos.

Por otra parte, también es importante el rango de utilización de las sondas de temperatura. Este valor depende tanto del tipo de construcción con el que se fabrique, como del tipo de sensor de temperatura que se utilice. Generalmente se podría considerar que una sonda de temperatura pt100 con salida directa a cable puede trabajar entre -50°C y 250°C (en función del tipo de cable y de las medidas de la vaina de protección); y que en las sondas de temperatura con cabezal de conexiones, el rango más habitual abarca desde los -50°C hasta los 500°C . (Contaval, 2016)



Figura 3.28. Tipo de termoresistencias
Fuente: (Contaval, 2016)

Tabla 3.3. *Los tipos en los que se divide este tipo de sensor*

Tipo	Bobinado	Numero de Hilos
PT 100	Bobinado en Platino	2 hilos (instalaciones menos de 10m)
PT 1000	Bobinado en Platino	3 hilos
Ni 100	Bobinado en Níquel	4 hilos (Instalaciones que requieren mucha precisión)
Ni 1000	Bobinado en Níquel	

(Contaval, 2016)

Resistencias detectoras de temperatura (RTD)

Las RTD son dispositivos basados en la variación normal que experimenta la resistencia de un conductor metálico puro con la temperatura, como resultado del cambio de su resistividad y sus dimensiones. Esta variación es directa, es decir, que si la temperatura aumenta o disminuye, la resistencia también aumenta o disminuye en la misma proporción. Se dice, entonces, que son dispositivos con coeficiente de temperatura positivo (PTC).

El elemento sensor es típicamente un fino alambre de platino o una delgada película del mismo material aplicada a un sustrato cerámico. Otros metales comúnmente utilizados como elementos sensores son: el níquel, el cobre y el molibdeno.

Las RTD, principalmente las versiones de platino, se caracterizan principalmente por su precisión y su amplio rango de temperaturas de operación, el cual se extiende desde -250°C hasta $+850^{\circ}\text{C}$. Tienen también una sensibilidad, estabilidad y repetibilidad muy altas, y ofrecen una respuesta más lineal que las termocuplas o los termistores.

Los valores nominales de resistencia (R_0) más comunes en los cuales se consiguen las sondas de platino son 25, 50 100, 200, 500 y 1000 Ω . Estos valores están definidos a 0°C . Las populares sondas Pt 100, por ejemplo, son RTD de platino con una R_0 de 100Ω .

En cuanto a la disposición física, hay modelos diseñados tanto para la inmersión en fluidos como para la medición de temperaturas superficiales

Las RTD se utilizan generalmente con un acondicionador de señales que convierte su salida a un voltaje o a una corriente proporcional a la temperatura. Esta señal de alto nivel puede ser entonces transmitida a una unidad de visualización, registro o control.

Generalmente son a tres hilos para compensar la resistencia del cable. (Araya, 2015)

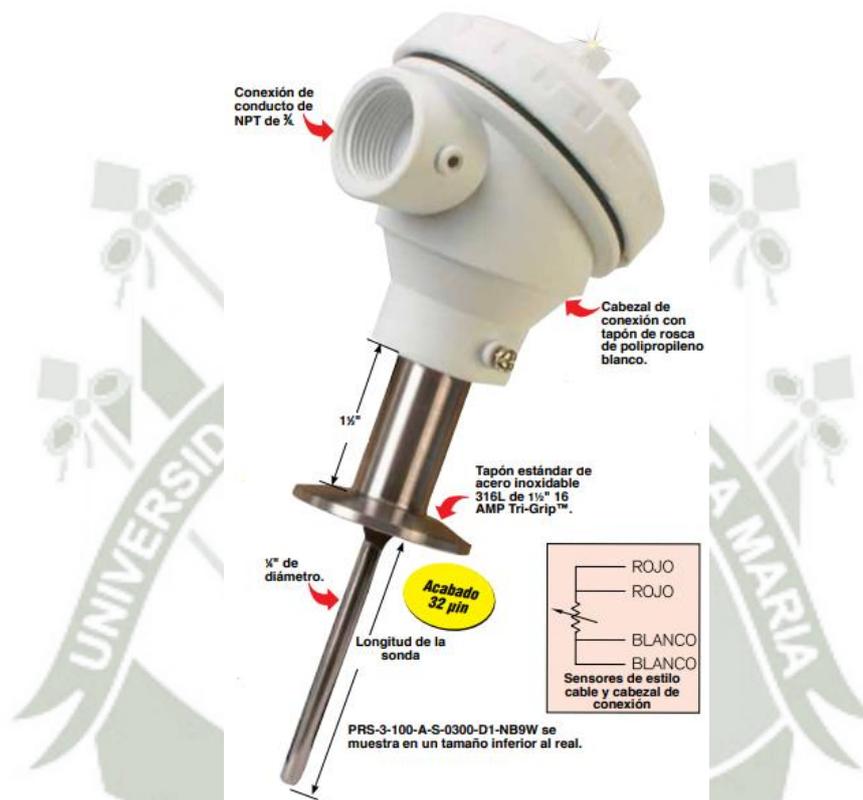


Figura 3.29. Partes del RTD (Resistencias detectoras de temperatura)
Fuente: (Araya, 2015)

3.3.4 Medidor de Humedad

La humedad relativa nos indica el porcentaje de la humedad que se encuentra en el ambiente y los cultivos en invernaderos necesitan de un nivel regulado para poder lograr la fotosíntesis, por lo que es necesario medir y controlar el ambiente del cultivo. Esto se ve más claramente en invernaderos cerrados. (Monroy Garcia, Rolon Quintero, & Sepulveda Mora, 2017)

La humedad relativa se define como la razón entre la presión parcial del vapor de agua y la presión de vapor saturado a una temperatura dada.

Generalmente se expresa como porcentaje:

$$\text{Humedad relativa} = \frac{\text{presión parcial de H}_2\text{O}}{\text{presión de vapor saturado de H}_2\text{O}} \times 100\%$$

Los humanos son sensibles a la humedad. Por lo general, una humedad relativa del 40-50% es óptima tanto para la salud como para la comodidad. La humedad alta, particularmente en un día caluroso, reduce la evaporación de la humedad de la piel, que es uno de los mecanismos vitales del cuerpo para regular temperatura corporal. Por otra parte, la humedad muy baja reseca la piel y las membranas mucosas.

El aire está saturado con vapor de agua cuando la presión parcial del agua en el aire es igual a la presión de vapor saturado a esa temperatura. Si la presión parcial del agua supera la presión de vapor saturado, se dice que el aire está supersaturado. Esta situación ocurre cuando se registra un descenso en la temperatura. Supongamos que la temperatura es de 30°C y que la presión parcial del agua es de 21 torr, lo que representa una humedad del 66%. Ahora supongamos que la temperatura desciende a 20°C, lo que puede ocurrir al caer la noche. Sabiendo que la presión de vapor saturado para el agua a 20°C es de 17.5 torr. Por tanto, la humedad relativa sería mayor del 100% y el aire supersaturado no puede retener toda esta agua. El agua excedente se puede condensar y aparecer como rocío, o como niebla o lluvia.

Cuando se enfría el aire que contiene una cantidad determinada de agua, se alcanza una temperatura en la que la presión parcial del agua es igual a la presión de vapor saturado. A esto se le denomina punto de rocío. La medición del punto de rocío es el medio más preciso para determinar la humedad relativa.

3.3.5 Electroválvula

Las electroválvulas son dispositivos que, al ser accionados por un sistema de control, autorizan o bloquean el paso de un fluido en un circuito hidráulico. Existen dos tipos de electroválvulas: motorizadas y de solenoide, cada una con su uso particular dependiendo del tiempo de respuesta buscado y el caudal que se desee aplicar. (Chacon Becerra & Tigse Lara, 2017)

3.3.6 Actuadores

Un ACTUADOR es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide). Dependiendo del origen de la fuerza el actuador se denomina “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico”.

3.4 Selección del Microcontrolador

Dentro del mercado existe gran cantidad de microcontroladores con diferentes arquitecturas. Se pueden clasificar dependiendo del número de bits destinados al direccionamiento de la memoria en: 8,16 y 32 bits.

3.4.1. Características requeridas del microcontrolador

Las principales características necesarias para la selección del microcontrolador son: disponibilidad de puertos, conversores analógico-digitales, velocidad de procesamiento, disponibilidad de herramientas de programación, y memoria.

Disponibilidad de puertos

En este proyecto hay necesidad de conexión de varios elementos: un LCD, sensores, comunicador celular, modulo inalámbrico entre otros dispositivos. Por esta razón es importante tener disponible el suficiente número de pines y puertos para comunicación de entrada y salida en el sistema microprocesado.

Conversores Analógico-Digitales

Debido a que se utilizarán sensores analógicos es necesario que el microcontrolador a seleccionar posea esta capacidad con lo que el prototipo no aumentará de tamaño al adicionar conversores externos.

Velocidad de procesamiento

El prototipo tomará de los sensores y controlará la transmisión de los datos por lo que se necesitará reducir los retardos en el proceso.

Disponibilidad de herramientas de Programación

Deben existir herramientas de programación que permitan la utilización de todas las capacidades del microcontrolador. Existen algunos programas que lo permiten como MIKRO C para PICs, BASCOM para microcontroladores ATMEL entre otros.

Memoria

Los microcontroladores poseen varios tipos de memoria. Una para guardar las instrucciones de manejo del microcontrolador, y otra para guardar variables y datos de trabajo (RAM).

3.4.2 Microcontrolador PIC 16F877A

Este microcontrolador es fabricado por MicroChip familia a la cual se le denomina PIC. El modelo 16F877 posee varias características que hacen a este microcontrolador un dispositivo muy versátil, eficiente y práctico para ser empleado en la aplicación que posteriormente será detallada.

Algunas de estas características se muestran a continuación:

- Soporta modo de comunicación serial, posee dos pines para ello.
- Amplia memoria para datos y programa.
- Memoria reprogramable: La memoria en este PIC es la que se denomina FLASH; este tipo de memoria se puede borrar electrónicamente (esto corresponde a la "F" en el modelo).
- Set de instrucciones reducidas (tipo RISC), pero con las instrucciones necesarias para facilitar su manejo.

Características

- Nombre del parámetro Valor
- Programa Tipo de memoria flash
- Memoria de programa (KB) 14
- CPU Speed (MIPS) 5
- RAM 368 Bytes
- EEPROM de datos (bytes) 256
- Digital Periféricos de comunicación 1-UART, 1-A / E / USART, 1-SPI, 1-I2C1-MSSP (SPI / I2C)

- Capture / Compare / PWM Periféricos 2 CCP
- Temporizadores 2 x 8 bits, 1 x 16-bit
- ADC 8 ch, de 10 bits
- Comparadores 2
- Rango de temperatura (C) -40 a 125
- Rango de Voltaje (V) 2-5,5
- Número de pines 40

(MicrochipTechnology, 2015)

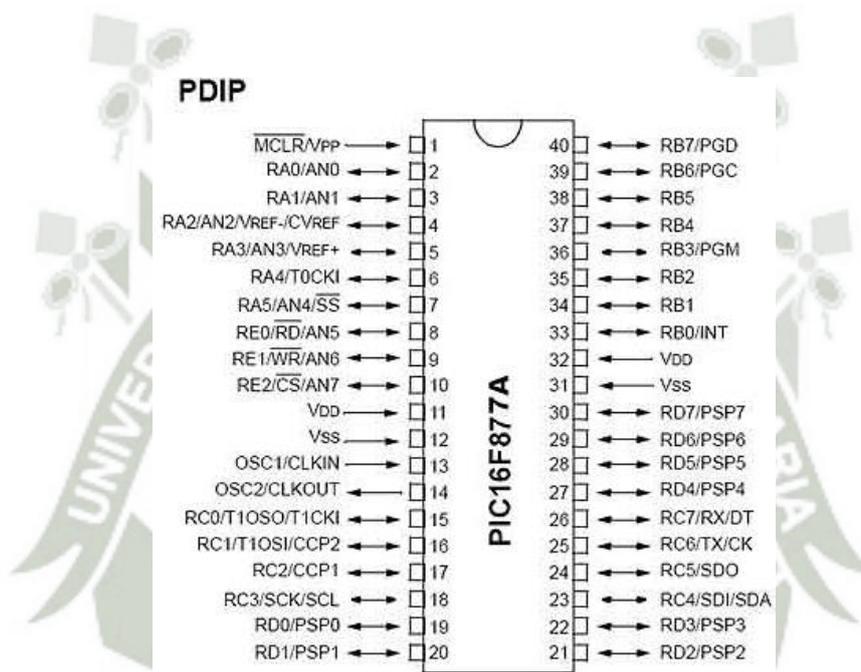


Figura 3.30. Terminales de conexión del microcontrolador PIC 16F877A.
(MicrochipTechnology, 2015)

3.4.3 Microcontrolador PIC 12F675

Este potente microcontrolador de 8 bits basado en Flash de CMOS incorpora la potente arquitectura PIC® MCU de Microchip en un paquete de 8 patillas y cuenta con 4 canales para el procesador de 10 bits Convertidor analógico a digital (A / D), comparador de 1 canal y 128 bytes de memoria de datos EEPROM. Este dispositivo se adapta fácilmente para aplicaciones de productos de automoción, industriales, electrodomésticos y de consumo para principiantes que requieren reprogramación en campo.

Características:

- Microcontrolador arquitectura de 8 bits

- Hasta 6 pines I/O disponibles
- Memoria de programa flash de 1024 words
- RAM de 64 Bytes
- EEPROM de datos de 128 Bytes
- Velocidad de la CPU 5 MIPS
- Oscilador externo hasta 20 MHz
- Oscilador interno de precisión de 4 MHz
- ADC de 10 bits y 4 canales
- Voltaje de operación 2.2 V a 5.5 V
- 1 comparador análogo
- 1 timer de 8 bits y 1 de 16 bits
- Múltiples fuentes de interrupción (7)
- Resistencias de pull-ups en 5 pines I/O
- Función MCLR opcional
- Brown-out Reset
- Power-on Reset
- Power-up Timer y Oscillator Start-up Timer
- Modos de ahorro de energía
- Soporta 100,000 ciclos de borrado/escritura en memoria flash
- Soporta 1,000,000 ciclos de borrado/escritura en memoria EEPROM
- Retención de datos mayor a 40 años
- Protección de código y datos programable
- Encapsulado DIP de 8 pines (MicrochipTechnology, 2015)

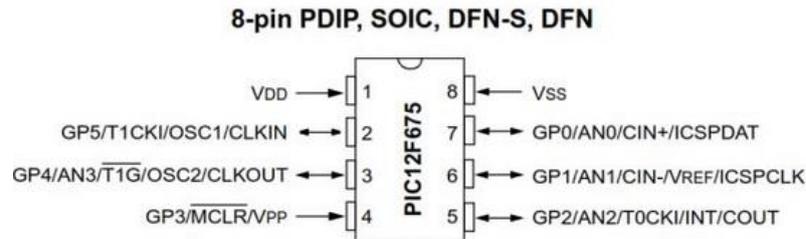


Figura 3.31. Terminales de conexión del microcontrolador PIC 12F675.
Fuente: (MicrochipTechnology, 2015)

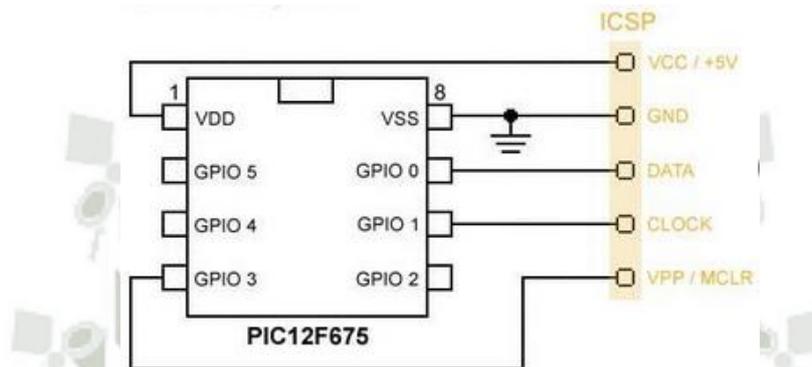


Figura 3.32. Circuito de conexión del microcontrolador PIC 12F675.
Fuente: (MicrochipTechnology, 2015)

3.5 Selección de componentes electrónicos

3.5.1 Multiplexor 4051

Un multiplexor o de multiplexor le permite ampliar las entradas y salidas en su placa Arduino. El 4051 es de 8 canales analógicos ya sea multiplexor o demultiplexor.

Si utiliza el 4051 como un multiplexor, se puede elegir entre 8 entradas diferentes y seleccionar que solo una se lea en el momento.

El 74HC4051 es un dispositivo de alta velocidad CMOS es compatible con TTL Schottky de baja potencia (LSTTL). El 74HC4051 es un multiplexor/demultiplexor analógico de 8 canales con tres entradas digitales seleccionables (S0 a S2), una entrada activa en BAJO ENABLE (E), 8 entradas/salidas independientes (Y0 a Y7) y una entrada/salida común (Z). Con E en BAJO el integrado entra en alta impedancia, independientemente de S0 a S2. VCC y GND son los pines de tensión de alimentación para las entradas de control digitales (S0 a S2, y E). El VCC tiene un rango de 2,0 V a 10,0 V para 74HC4051 y 4,5 V a 5,5 V para 74HCT4051. Las entradas/salidas analógicas (Y0 a Y7, y Z) pueden oscilar entre VCC como un límite positivo y VEE como límite negativo. Para el funcionamiento como un multiplexor/demultiplexor digital, VEE está conectado a GND. (Elrincondesalas, 2015)

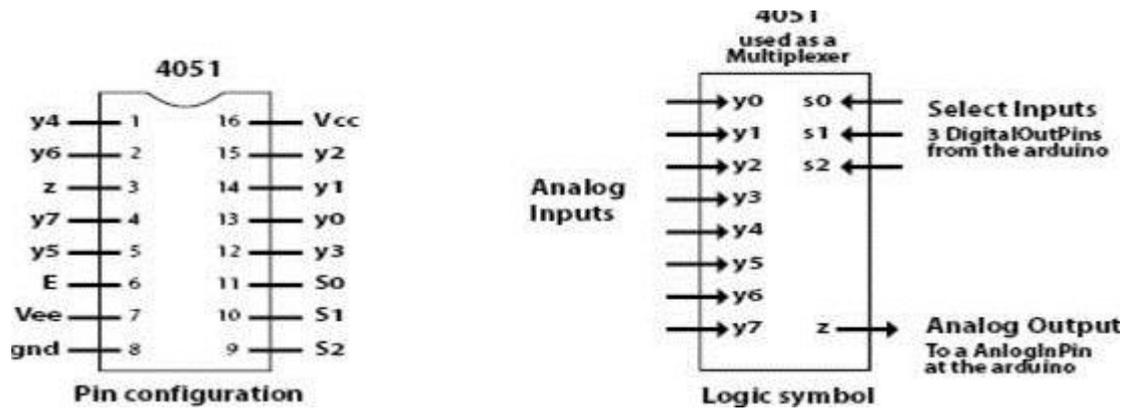


Figura 3.33. Diagrama funcional del Multiplexor 4051
Fuente: (Elrincondesalas, 2015)

- Z: de entrada común / salida (conectado a Arduino de entrada / salida)
- E: entrada de habilitación (LOW activo) (conectado a tierra (GND))
- Vee: tensión de alimentación negativa (conectado a tierra (GND))
- GND: tierra (0 V)
- S0-S2: entradas de selección (conectado a tres Arduino DIGITALOUT Pins)
- Y0-Y7: entradas / salidas independientes
- Vcc: tensión de alimentación positiva (5v)

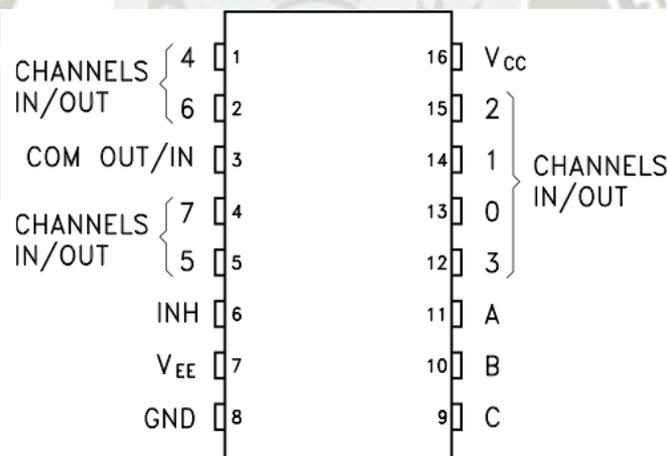


Figura 3.34. Diagrama de pines del Multiplexor 4051
Fuente: (webnode, 2012)

3.5.2 Regulador de voltaje LM7805

Es un dispositivo electrónico que tiene la capacidad de regular voltaje positivo de 5V a 1A de corriente, en la mayoría de los desarrollos con arduino o con programadores Pic estamos obligados a garantizar una fuente de tensión constante, eso disminuye la posibilidad de dañar nuestro circuito debido a oscilaciones en los niveles de tensión, la forma más práctica y

simple de lograr esto es mediante el Regulador de voltaje 7805, básicamente es un dispositivo que cuenta con 3 pines.

- Tensión de entrada
- Masa
- Tensión de salida

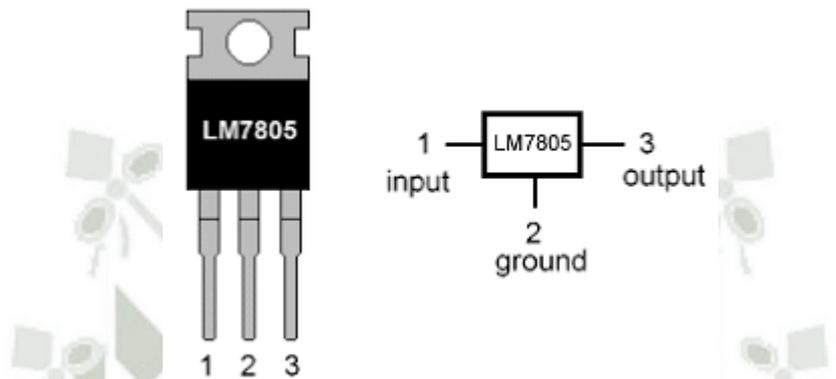


Figura 3.35. Diagrama de pines del LM7805
Fuente: (Etools, 2014)

Es importante que el capacitor de la rama de entrada sea por lo menos 3 veces más grande que el de la rama de salida.

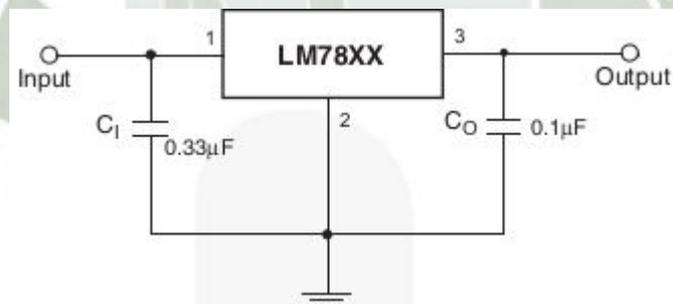


Figura 3.36. Diagrama del LM7805
Fuente: (Etools, 2014)

3.5.3 Oscilador de Cristal 4MHZ

El oscilador de cristal se caracteriza por su estabilidad de frecuencia y pureza de fase, dada por el resonador.

La frecuencia es estable frente a variaciones de la tensión de alimentación. La dependencia con la temperatura depende del resonador, en el margen de 0 a 70 °C.

Estos osciladores admiten un pequeño ajuste de frecuencia, con un condensador en serie con el resonador, que aproxima la frecuencia de este, de la resonancia serie a la paralela.

Características:

- Cristal de cuarzo de 4mhz
- Cristal oscilador de cuarzo de 20Mhz Velocidad de oscilación 20Mhz
- Tolerancia: 50 ppm
- Rango de temperatura: -20°C a 70°C

(TBEM, 2017)

3.5.4 Fuente de poder

Se le llama fuente de poder o de alimentación al dispositivo que se encarga de transformar la corriente alterna de la línea eléctrica comercial que se recibe en los domicilios (220 volts en la Perú) en corriente continua o directa; que es la que utilizan los dispositivos electrónicos tales como televisores y computadoras, suministrando los diferentes voltajes requeridos por los componentes, incluyendo usualmente protección frente a eventuales inconvenientes en el suministro eléctrico, como la sobretensión.

Las fuentes de poder pueden ser lineales o conmutativas. Las fuentes lineales siguen el esquema de transformador (reductor de tensión), rectificador (conversión de voltaje alterno a onda completa), filtro (conversión de onda completa a continua) y regulación (mantenimiento del voltaje de salida ante variaciones en la carga). Las fuentes conmutativas, en cambio, convierten la energía eléctrica por medio de conmutación de alta frecuencia sobre transistores de potencia. Las fuentes lineales son típicamente de regulación ineficiente, comparadas con fuentes conmutativas de similar potencia. Estas últimas son las más utilizadas cuando se requiere un diseño compacto y de bajo costo.



Figura 3.37. Fuente de poder estabilizada 12 V DC – 3A Protección de picos de corriente: 220 VAC, 12VDC y 3A.

Fuente: (ebay, 2017)

CAPITULO IV

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN CELULAR GSM

4.1. Generalidades

Una vez realizado el análisis de los distintos elementos que componen el sistema de comunicación celular GSM, procederemos al diseño, construcción y programación de la unidad de adquisición y transmisión de parámetros censados del sistema; para su posterior implementación.

El sistema completo consta de dos etapas como lo indica la figura 4.1:

- Sistema de medición, procesamiento y comunicación de datos
- Central de monitoreo

En este capítulo realizaremos el diseño y construcción del sistema general.

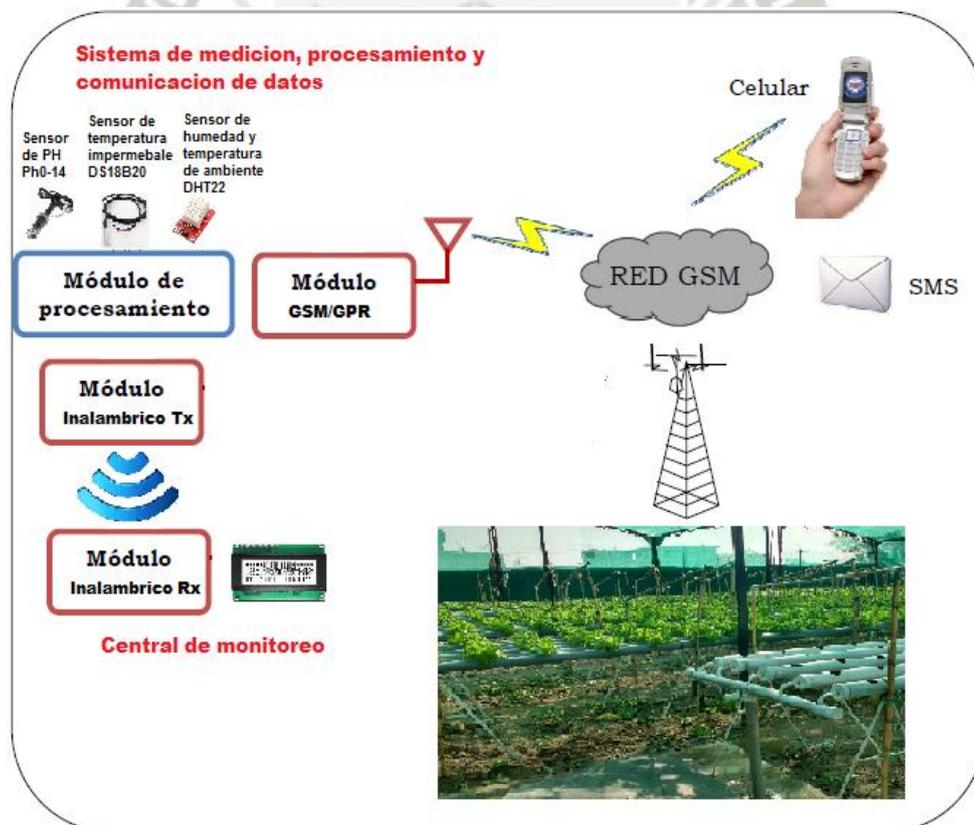


Figura 4.1. Diagrama general de los componentes del sistema
Fuente: (Elaboración propia)

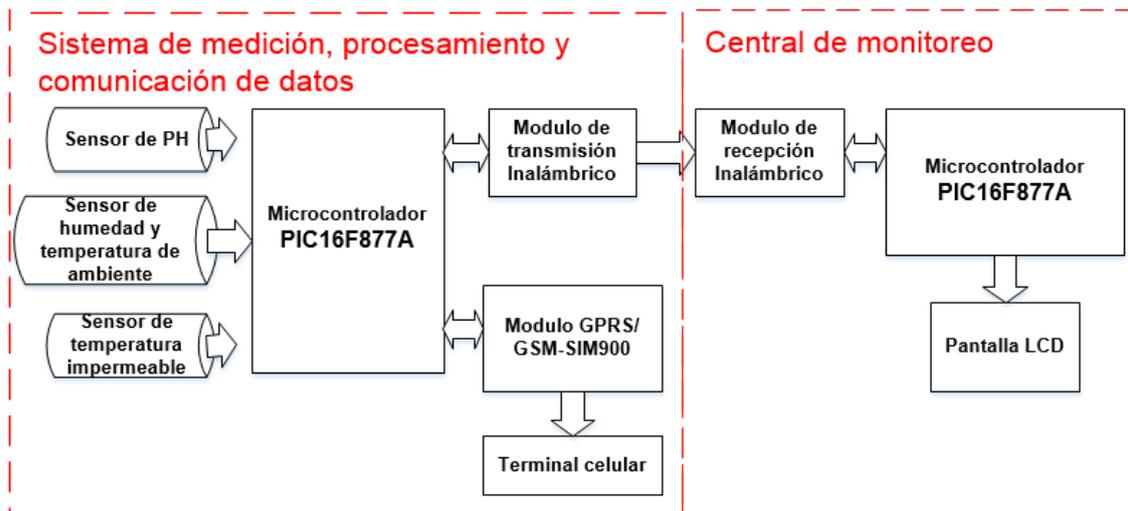


Figura 4.2. Diagrama de bloques general del sistema.
Fuente: (Elaboración propia)

4.2. Diseño del sistema de medición, procesamiento y comunicación de datos

El sistema de medición, procesamiento y comunicación de datos está referido al circuito encargado de la medición de los parámetros de PH, temperatura del agua, temperatura del ambiente y humedad, luego gestionar las señales de transmisión - recepción a través de la red GSM mediante el microcontrolador PIC16F877A. El microcontrolador PIC16F877A es el componente principal del sistema de medición, procesamiento y comunicación de datos y establece la comunicación serial con el módulo “SIM900” bajo el modelo pregunta-respuesta. La figura. 4.3 y 4.5 Muestran el diagrama de bloques y el aspecto físico del módulo, respectivamente.

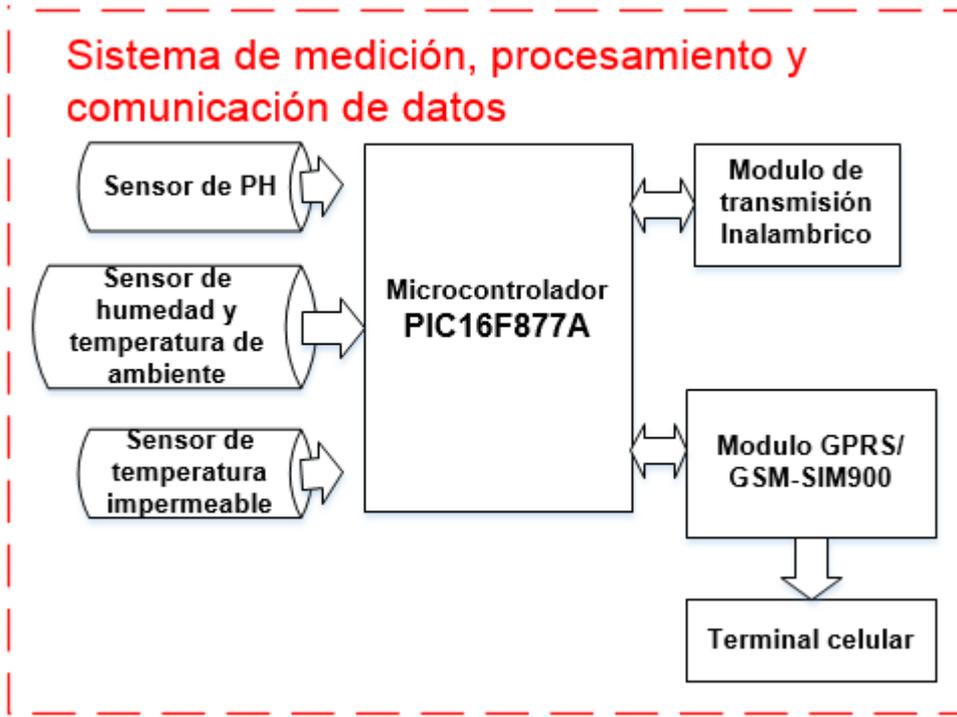


Figura 4.3. Diagrama de bloques del sistema de medición, procesamiento y comunicación de datos.
Fuente: (Elaboración propia)

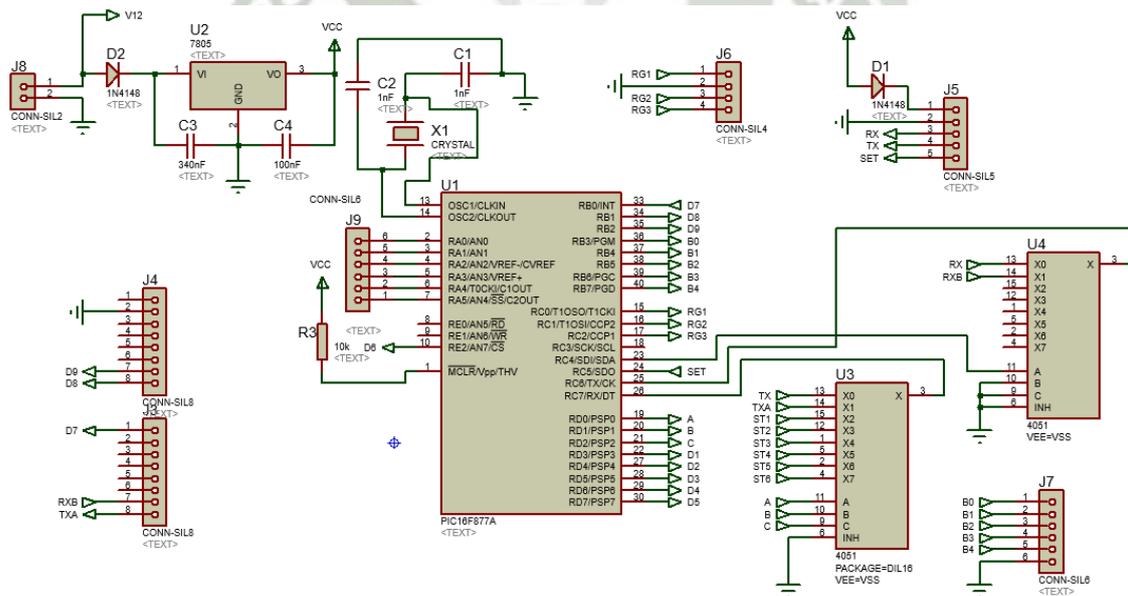


Figura 4.4. Esquemático de los pines utilizados en el microcontrolador del sistema de medición, procesamiento y comunicación de datos.
Fuente: (Elaboración propia)

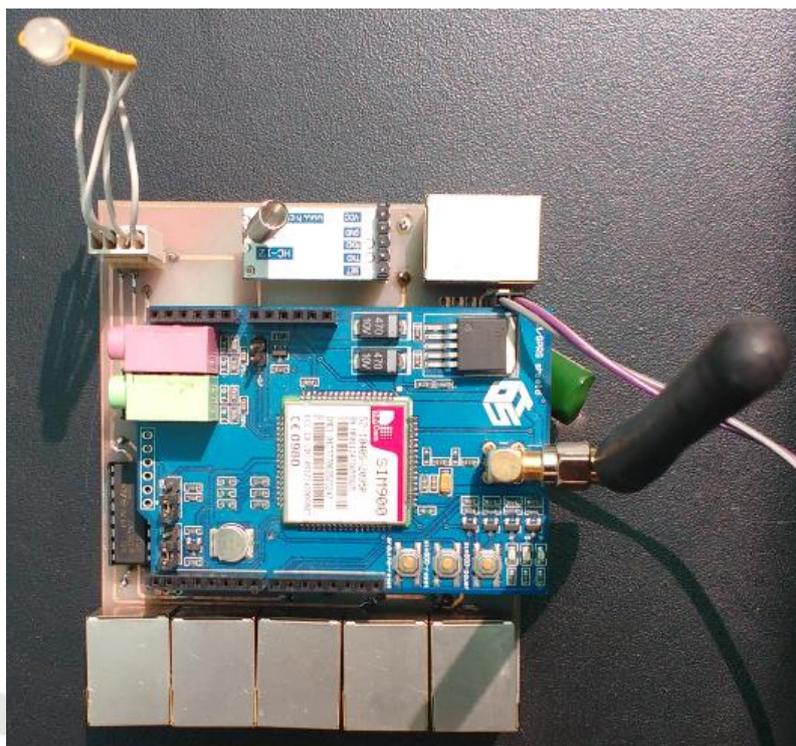


Figura 4.5. Sistema de medición, procesamiento y comunicación de datos
Fuente: (Elaboración propia)

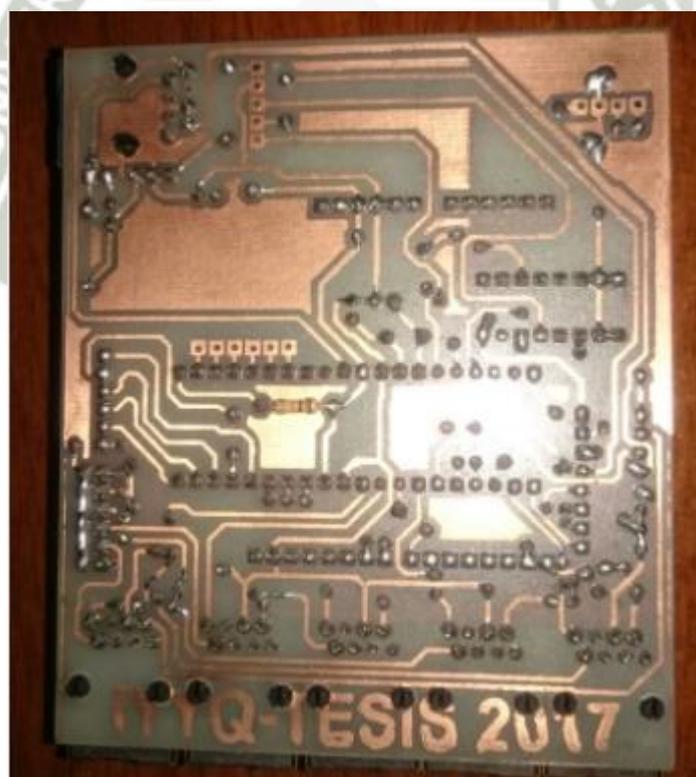


Figura 4.6. Placa impresa del sistema de medición, procesamiento y comunicación de datos
Fuente: (Elaboración Propia)

4.2.1. Configuración básica del PIC16F877A

Para elaborar el proyecto de comunicación celular hay que tener en cuenta que el microcontrolador necesita una serie de configuraciones básicas que garanticen su correcto funcionamiento. Las configuraciones son:

- La fuente de alimentación (5Vcc),
- La velocidad a la que va a trabajar (circuito oscilador)
- La configuración del puerto MCLR

a) Fuente de alimentación del microcontrolador

El microcontrolador está diseñado para trabajar con una alimentación de 5Vcc estable, es decir que su voltaje de salida sea + 5Vcc en todo momento; ya que una fuente de alimentación inestable puede causar una reiniciación programa del PIC no deseada o una variación en los tiempos de instrucción; esto provocaría un mal funcionamiento del circuito diseñado.

En el diseño de la fuente de alimentación partimos del voltaje proporcionado por la fuente de alimentación del sistema de video vigilancia (+ 12Vcc); para garantizar la estabilidad de la fuente realizamos una reducción a + 5Vcc, a través de un integrado regulador de voltaje LM7805 acompañado de dos condensadores que protegen al circuito de ruidos eléctricos o subidas de voltaje, el valor de los condensadores utilizados son los recomendados por el fabricante de los integrados reguladores de voltaje (ver Anexo 7), lo valores son de 340nF y 100nF respectivamente como se aprecia en la figura 4.7.

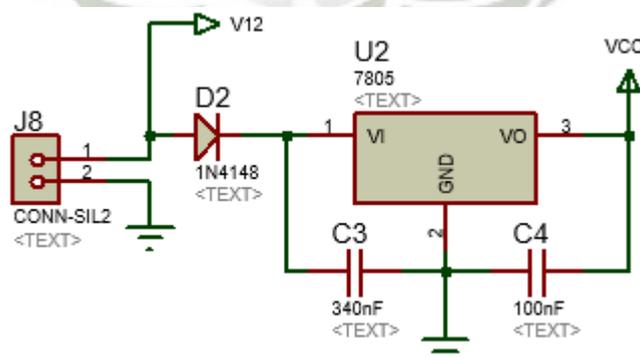


Figura 4.7. Esquemático del regulador de voltaje
Fuente: (Elaboración propia)

Este regulador de voltaje también será utilizado para alimentar diferentes dispositivos conectados al sistema.

Se utilizara una fuente de alimentación de +12 voltios con una corriente de 3 amperios que posteriormente serán regulados a un voltaje de +5 voltios por el integrado regulador de voltaje LM7805, ya que en esta etapa se alimentara varios dispositivos como el modulo inalámbrico de transmisión, módulo GSM/GPRS, sensor de temperatura ambiente y humedad, sensor de PH, sensor de temperatura impermeable.

b) Diseño del circuito oscilador de frecuencia

A pesar de tener un oscilador incorporado, el microcontrolador no puede funcionar sin componentes externos que estabilizan su funcionamiento y determinan su frecuencia (velocidad de operación del microcontrolador). Este circuito es conocido como un oscilador de frecuencia y va conectado a los puertos OSC1 y OSC2 del PIC.

Al utilizar el cristal de cuarzo para estabilizar la frecuencia, un oscilador incorporado funciona a una frecuencia determinada, y no es afectada por los cambios de temperatura y de voltaje de alimentación. Esta frecuencia se etiqueta normalmente en el encapsulado del cristal.

El oscilador recomendado y el que estamos utilizando en este proyecto es para el tipo de aplicación que estamos realizando como es la transmisión serial de datos es el de frecuencia de reloj de 4 Mhz lo que implica, internamente en el microcontrolador está corriendo a 1 Mhz debido a que se toman 4 pulsos de reloj completos para cada instrucción.

La condición básica importante para que este oscilador funcione es que los condensadores C4 y C5 deberán ser iguales. En la siguiente tabla se presenta algunos valores de condensadores:

Tabla 4.1. *Valores de condensadores recomendados para osciladores según Datasheet PIC16F877A (ver Anexo 2)*

FRECUEN CIA	OSC1/C1	OSC2/C2
4 MHZ	15 – 33 pF	15 – 33 pF
20 MHz	15 – 33 pF	15 – 33 pF

El valor de los capacitores es de 22pF para nuestro diseño, utilizando una frecuencia de 4 MHz. Entonces el circuito oscilador de frecuencia para nuestro proyecto lo indica la siguiente figura:

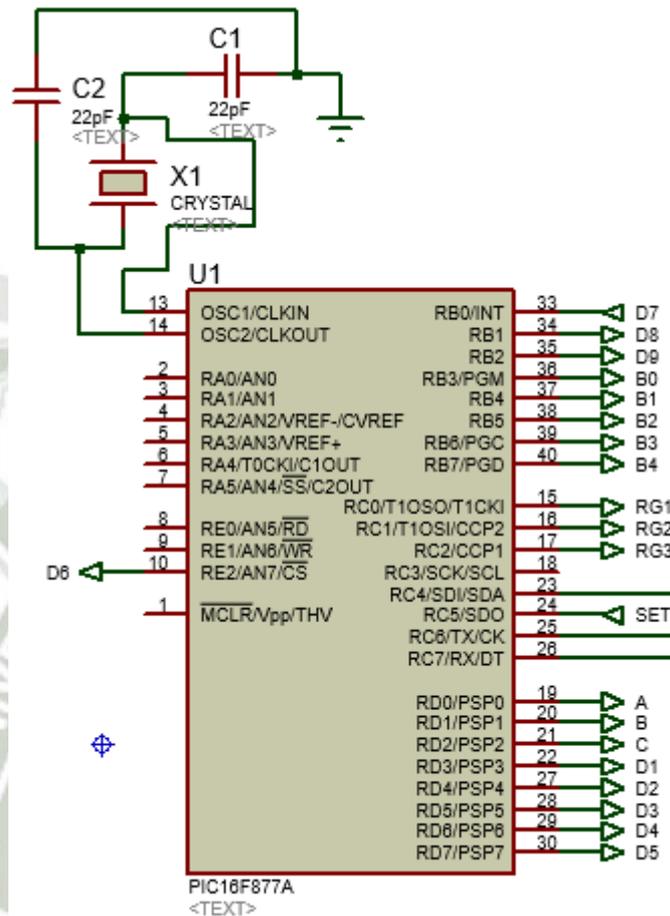


Figura 4.8. Circuito oscilador de frecuencia
Fuente: (Elaboración propia)

c) Configuración del puerto de reset general

El puento MCLR del microcontrolador sirve para reiniciar el programa que se está corriendo en el PIC, este suele ser usado al existir una falla en el programa. Cuando se ejecuta un RESET, se producen dos acciones importantes:

- El contador de programa se vuelve a colocar en el principio del programa.
- Los registros modificados vuelven a su estado normal.

La señal de reset se aplica al pin /MCLR. Esta entrada se activa por una transición de pendiente negativa es decir en la transición de un 1 a un 0 lógico, el sistema permanece en estado de RESET al encontrarse este pin a una entrada negada; por lo cual tendremos que conectarlo a la alimentación positiva VCC si queremos que nuestro PIC funcione.

La configuración utilizada será la que se muestra en la siguiente figura 4.9:

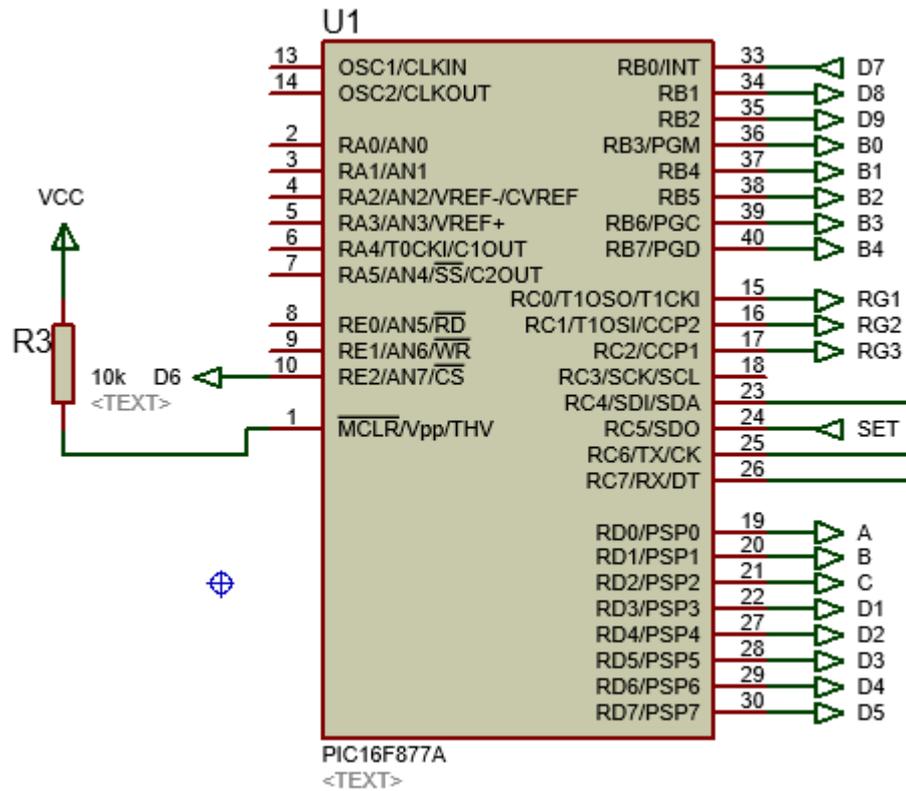


Figura 4.9. Circuito de RESET general
Fuente: (Elaboración propia)

El microcontrolador puede soportar una corriente máxima en cada uno de sus pines de 25 mA, y la alimentación que requiere es de 5V; entonces para saber el valor de la resistencia que se debe colocar para el circuito de reset se calcula a través de la ley de Ohm:

$$R = \frac{V}{I}$$

Dónde:

R= resistencia

V= Voltaje

I= Intensidad

$$R = \frac{5V}{0.025 A}$$

R= 200 Ω ≈ Valor comercial 220 Ω

Por lo que se debemos utilizar una resistencia mínima de 220Ω , pero estaríamos al límite de la corriente que soportaría el PIC, entonces lo aconsejable es colocar una resistencia entre $1K \Omega$ y $10 K \Omega$, así el PIC estaría trabajando con corrientes entre 5 mA a 0.5 mA .

Se está considerando una resistencia de $10 K \Omega$ para nuestro diseño ya que cumple los límites permitidos de corriente.

Potencia de la resistencia:

$$P_{R1} = V * i$$

$$P_{R1} = 5 V * 0.005 A$$

$$P_{R1} = 0.025 W \approx \frac{1}{4} W \text{ valor comercial}$$

4.2.2. Diseño de adquisición de la señal de temperatura impermeable y PH

En esta etapa se realizó el diseño de la placa ubicado cerca del estanque colector de manera independiente para la medición de temperatura impermeable y PH ya que la distancia entre la placa central y el estanque colector es aproximadamente 20 metros. El circuito que diseñamos en este punto estará protegido por una caja de pase impermeable de $10\text{cm} * 10\text{cm} * 5\text{cm}$ que a su vez estará cerca del estanque colector puesto que la sonda de temperatura y sonda de PH serán introducidas en el agua con nutrientes para la adquisición de datos.

Se está usando el PIC12F675 para que convierta la señal de medición del sensor de PH de analógica a digital y luego se trasmite por comunicación serial por el cable UTP sobre una distancia de 20 metros. El cable está protegido por tubería PVC pesado para que no esté expuesto a daños por agentes externos. No se envió una señal analógica de manera directa hacia la placa principal ya que la señal estaría expuesta a ruido. La señal de salida del sensor de temperatura impermeable es digital.

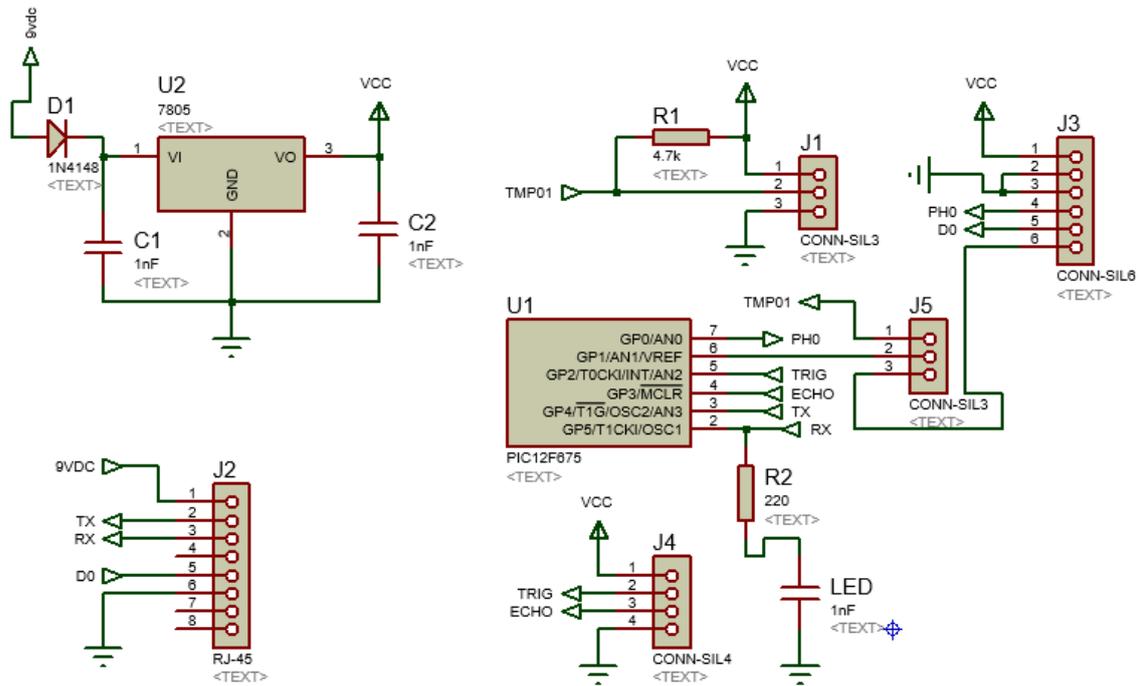


Figura 4.10. Circuito de la señal de temperatura impermeable y PH
Fuente: (Elaboración propia)

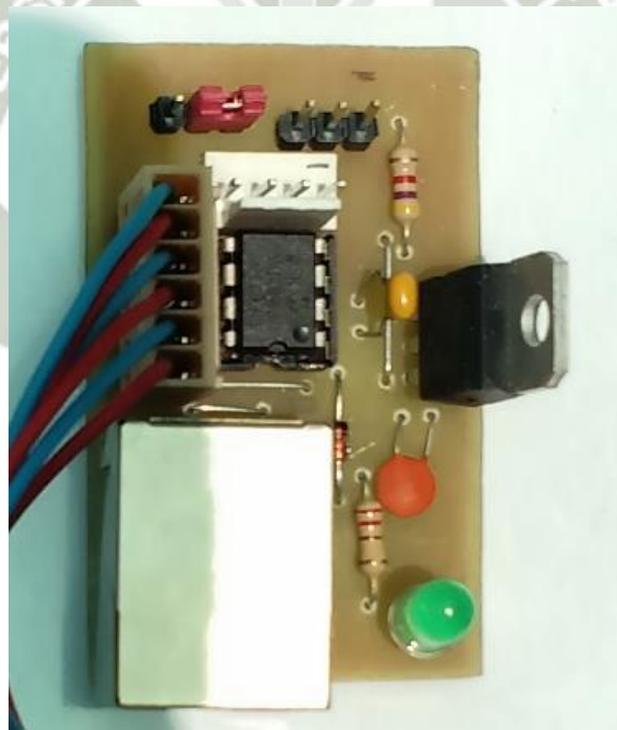


Figura 4.11. Placa de Señal de temperatura impermeable y PH
Fuente: (Elaboración propia)

a) Configuración básica del PIC12F675

El microcontrolador PIC12F675 necesita una serie de configuraciones básicas que garanticen su correcto funcionamiento. Las configuraciones son:

- La fuente de alimentación (5Vcc).

- La velocidad a la que va a trabajar (circuito oscilador)

Fuente de alimentación del microcontrolador

El microcontrolador está diseñado para trabajar con una alimentación de 5Vcc estable, es decir que su voltaje de salida sea + 5Vcc en todo momento; El microcontrolador está diseñado para trabajar con una alimentación de 5Vcc estable, utilizaremos a través de un integrado regulador de voltaje LM7805 acompañado de dos condensadores que protegen al circuito de ruidos eléctricos o subidas de voltaje, el valor de los condensadores utilizados son los recomendados por el fabricante de los integrados reguladores de voltaje (ver Anexo 7), lo valores son de 340nF y 100nF respectivamente como se aprecia en la figura 4.12.

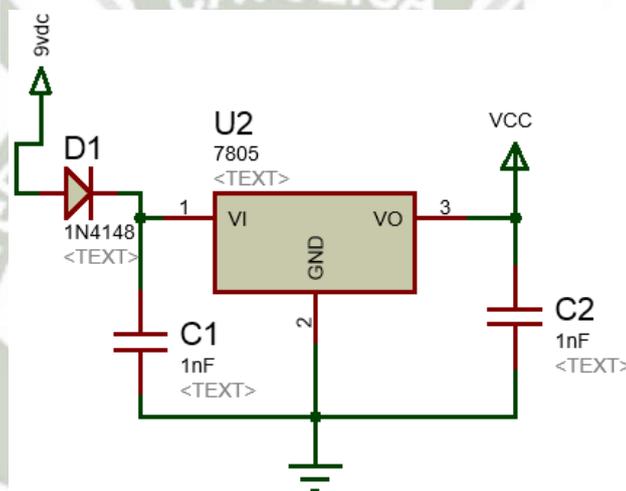


Figura 4.12. Esquemático del regulador de voltaje
Fuente: (Elaboración propia)

Diseño del circuito oscilador de frecuencia

Para esta etapa basta con utilizar una simple red RC, mostrada en la siguiente figura 4.13. No es necesario utilizar los componentes caros y adicionales para la estabilización. Ésta es la frecuencia de operación del microcontrolador, o sea la velocidad de ejecución de instrucciones.

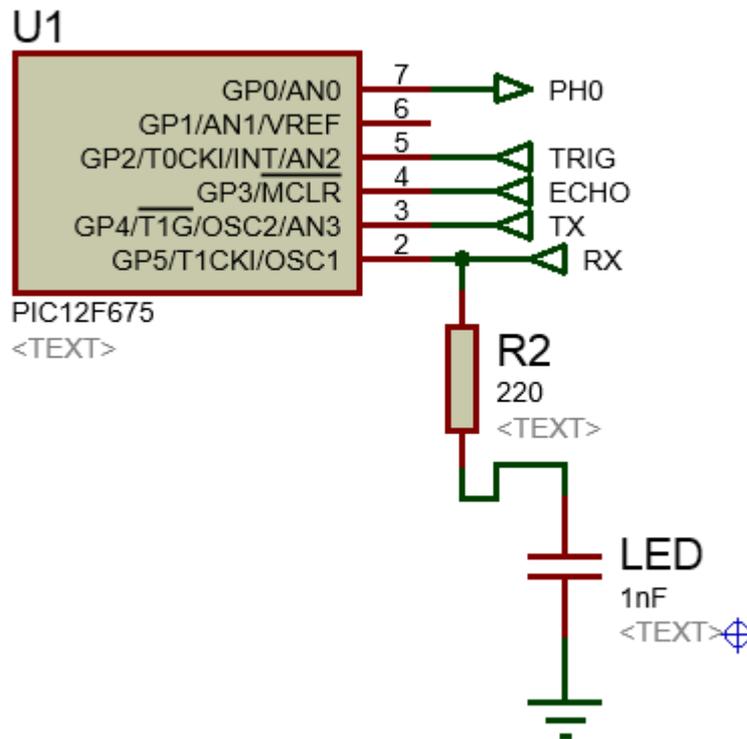


Figura 4.13. Circuito oscilador de frecuencia
Fuente: (Elaboración propia)

b) Sensor de temperatura impermeable DS18B20

El Sensor de temperatura DS18B20 cuenta con una característica muy particular y es que gracias a su diseño es completamente impermeable y puede ser sumergido en diversos líquidos (no inflamables), su punta de acero inoxidable soporta el agua salada y por supuesto es resistente a la corrosión, este sensor es capaz de medir temperaturas en un rango de entre -55°C a 125°C , además es 100% compatible con Arduino y cuenta con un cable de conexión con una longitud de 1 Metro, por lo cual puede ser sumergido para censar la temperatura de un líquido a diferentes profundidades.

Tomar una temperatura precisa en un entorno que no da muchas comodidades resulta un poco complejo, el grado de dificultad de un proyecto aumenta cuando se requiere tomar la temperatura de un líquido ya que este puede dañar el sensor o incluso provocar un corto circuito si no se aíslan correctamente las terminales, pensando en este problema se eligió el siguiente Sensor de temperatura Ds18b20.

Otro de los puntos fuertes de este sensor es que es completamente compatible con Arduino por lo cual se tiene un completo sistema capaz de censar y procesar temperatura

al unir este sensor y Arduino. Sus conexiones son simples ya que solo posee 3 de las cuales 2 son positivo y negativo (GND). (electronicastore.com, 2017)

Esta es una versión impermeabilizada del sensor de temperatura DS18B20. Útil para cuando necesite medir algo lejano, o en condiciones de humedad. El sensor alcanza hasta 125 °C, el cable está revestido en PVC por lo que se sugiere mantenerla por debajo de 100 °C. Debido a que son digitales, no recibe ningún tipo de degradación de la señal incluso en largas distancias. El DS18B20 proporciona 9 a 12-bits (configurable) lecturas de temperatura durante un interfaz 1-Wire, de modo que sólo un hilo (y tierra) se debe conectar a partir de un microprocesador. Compatible con sistemas de 3.0 ó 5.5V.

Cada DS18B20 tiene un código de 64 bits de serie único, que permite múltiples DS18B20s funcionen en el mismo bus 1-Wire. Por lo tanto, es fácil de usar un microprocesador para controlar muchos DS18B20s distribuidos sobre un área grande. Las aplicaciones que se pueden beneficiar de esta característica incluyen HVAC controles ambientales, sistemas de control de la temperatura interior de los edificios, equipos o maquinaria, y la supervisión de procesos y sistemas de control. (Vistronica, 2017)

A continuación puede ver un ejemplo de la conexión de este sensor con la tarjeta Arduino:

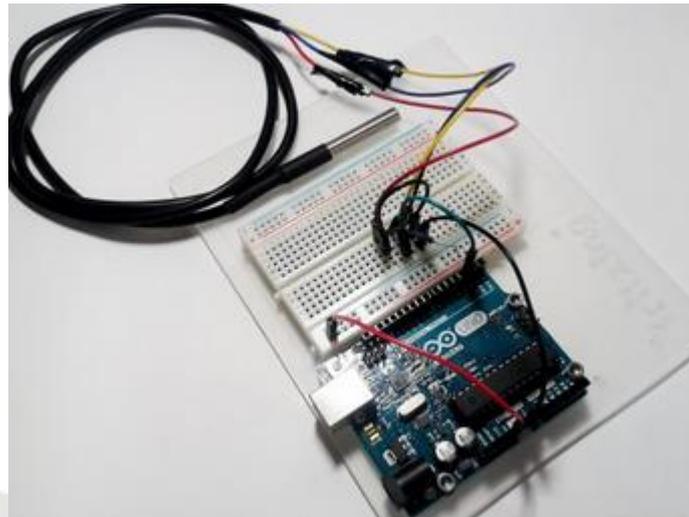


Figura 4.14. Conexión del sensor de temperatura impermeable con la tarjeta Arduino
Fuente: (Electronicstore.net, 2017)

El cable Rojo es la alimentación la cual puede ser de 3 a 5.5 V (excelente ya que Arduino brinda ese rango de voltaje), el cable Negro es GND o negativo y por último el cable Amarillo es el que le envía los datos a Arduino.

Características del sensor a prueba de agua

- Rango de temperatura: -55 a 125°C
- Resolución: de 9 a 12 bits (configurable)
- Interfaz 1-Wire (Puede funcionar con un solo pin)
- Identificador interno único de 64 bits
- Múltiples sensores puede compartir el mismo pin
- Precisión: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (de -10°C a $+85^{\circ}\text{C}$)
- Tiempo de captura inferior a 750 ms
- Alimentación: 3.0 V a 5.5 V
- Tubo de acero inoxidable de 6 mm de diámetro por 30 mm de largo
- Largo del cable: 91 cm
- Diámetro del cable: 4 mm
- Contiene un sensor de temperatura DS18B20
- Modelo: DS18B20

Nota: En función de la producción, los cables del sensor pueden variar pero seguirán según estas especificaciones:

Si tienes 4 cables: Rojo es Vcc (positivo), Negro es GND (negativo) y Blanco es el cable de datos. La malla es GND.

Si tienes 3 cables: Rojo es Vcc (positivo), Azul/Negro es GND (negativo) y Amarillo/Blanco es el cable de datos. (carrod, 2017)

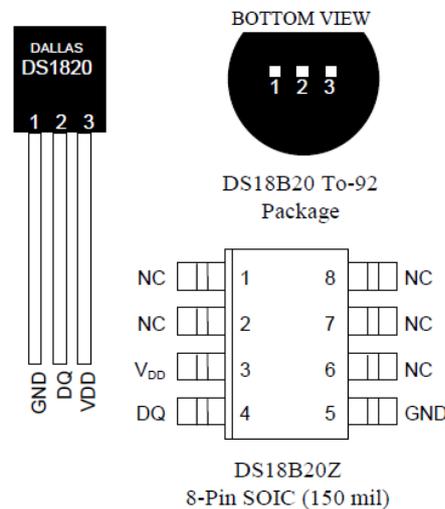


Figura 4.15. Encapsulamientos del sensor DS18B20
Fuente: (carrod, 2017)

Descripción del pin

GND: Tierra

DQ: Entrada / salida de datos

VDD: Voltaje de suministro de energía

NC: Sin conexión

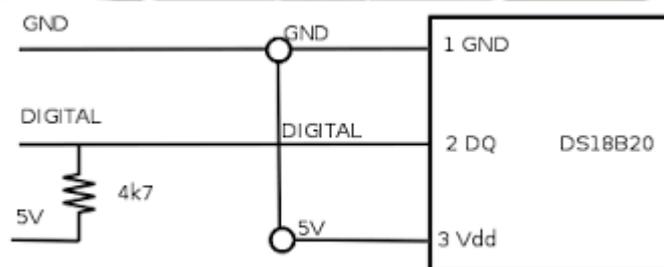


Figura 4.16. Circuito de conexión del sensor DS18B20
Fuente: (carrod, 2017)

De acuerdo al capítulo anterior se eligió el sensor de temperatura impermeable DS18b2, tipo termoresistencia ya que tiene la capacidad de combinarse con todo tipo de cabezas o terminaciones; particularidad que les permite adaptarse a cualquier necesidad del cliente.

Disponen de diversos rangos de temperatura de operación, disponen de una salida digital, Pueden venir con 2, 3 o 4 hilos. Dispone de una longitud de cable de 1 metro y tiene una protección IP68 (Protección contra el polvo y protección contra el agua de manera permanente). Otro factor a considerar es el costo del dispositivo que detallaremos al final del capítulo.

c) Sensor de PH Líquido PH0-14

El PH o potencial de hidrogeno indica la concentración del ion de hidrogeno en una solución, lo cual indica la intensidad de un ácido. El pH de un cuerpo de agua es algo a considerar cuando se busca analizar la solubilidad de sustancias orgánicas e inorgánicas en el agua, ya que este regula procesos biológicos. (Pérez, Bejarano, & Barragán, 2013)

El electrodo es un electrodo de vidrio, es un elemento medidor de PH que mide la actividad de los iones de hidrógeno en solución acuosa (valor de PH), que es ampliamente utilizado en la industria química, industria farmacéutica, la industria del colorante y las instituciones de investigación científica en el lugar necesitan detectar el pH.

Características:

Resistencia:	$\leq 250\text{M}\Omega$ (25 °C)
Error de alcalinidad:	0.2PH (1mol / L) Na +, PH14) (25 °C)
Voltaje de trabajo:	5 ± 0.2 V (AC · DC)
Corriente de trabajo:	5-10mA
Rango de concentración Detectable:	PH0-14
La detección de rango de Temperatura:	0-80 °C
Tiempo de respuesta:	≤ 5 S
Tiempo de estabilización:	≤ 60 S
Componente de Energía:	≤ 5 W
Temperatura de trabajo:	-10 ~ 50 ° (temperatura nominal de 20 °)
Humedad:	95% HR (humedad nominal de 65% de HUMEDAD RELATIVA)
Tamaño del módulo:	42mm × 32mm × 20mm
Salida:	salida de la señal analógica de tensión
Bloque de terminal:	BNC plug

Con 4 unids Agujeros De Montaje M3

Aplicación: Acuarios, sistema hidropónico, laboratorio entre otros.

(ebay, 2017)

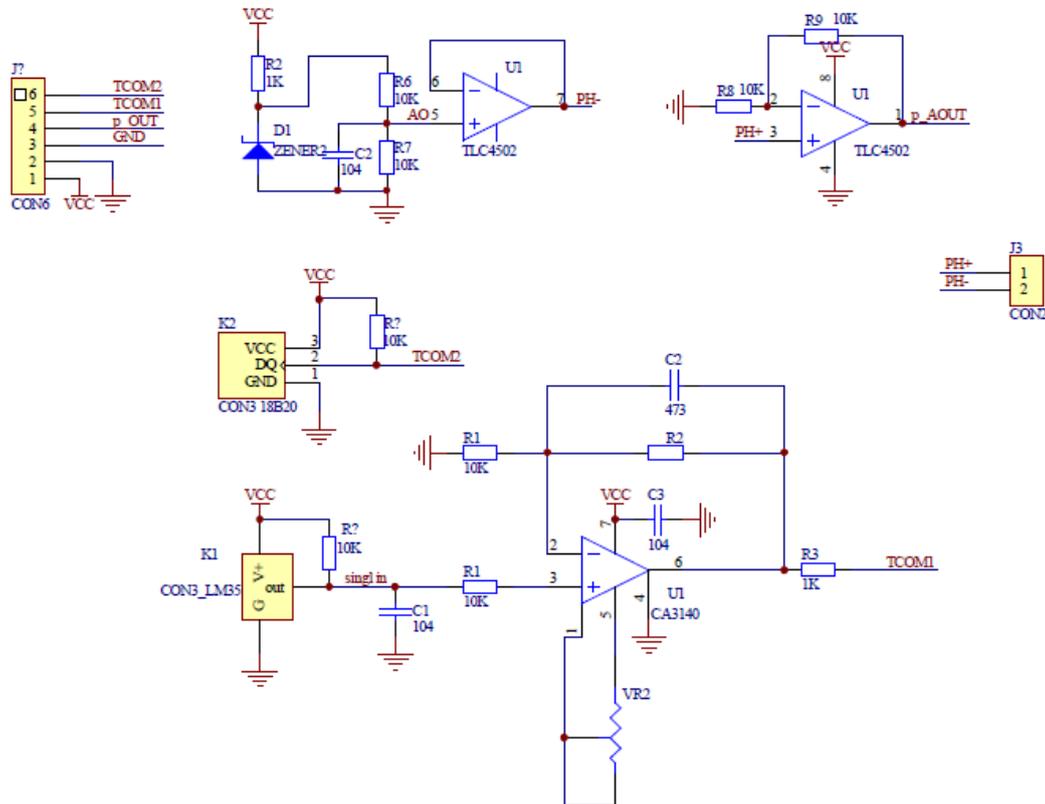


Figura 4.17. Diagrama de circuito del sensor de PH0-14

Fuente: (ebay, 2017)



Figura 4.18. Sensor de PH0-14

Fuente: (ebay, 2017)

De acuerdo al capítulo anterior se eligió el sensor PH0-14, cuyo tipo es electroquímico, el electrodo es de vidrio, dispone de una longitud de cable de 1 metro, dispone de un rango de medición de 0 a 14 PH y tiene una protección IP68 (Protección contra el polvo y protección contra el agua de manera permanente). Otro factor a considerar es el costo del dispositivo comparado con otros dispositivos a importación que detallaremos al final del capítulo.

Obtención de los valores de PH y voltaje del sensor PH0-14

Además tenemos que calcular la conversión del voltaje que nos dará el sensor de pH para lo que necesitaremos dos valores de referencia de pH y medir el voltaje que devuelve el sensor en el pin Po. Lo más recomendable es utilizar una solución de calibración en sobre, también las hay en líquido pero es más fácil conservar las de sobre. Estas soluciones se venden en diferentes valores aunque los más comunes son pH 4.01, pH 6.86 y pH 9.18.

Utilizando los sobres con pH 4.01 y pH 6.86 obtenemos los voltajes en el pin Po 3.04V y 2.54V respectivamente. El sensor es lineal por lo que tomando dos puntos podemos deducir la ecuación para convertir el voltaje medido a pH. La fórmula general sería $y=m*x+b$, por lo que tenemos que calcular m y b ya que x sería el voltaje e y el pH. El resultado es $y=-5.70*x+21.34$.

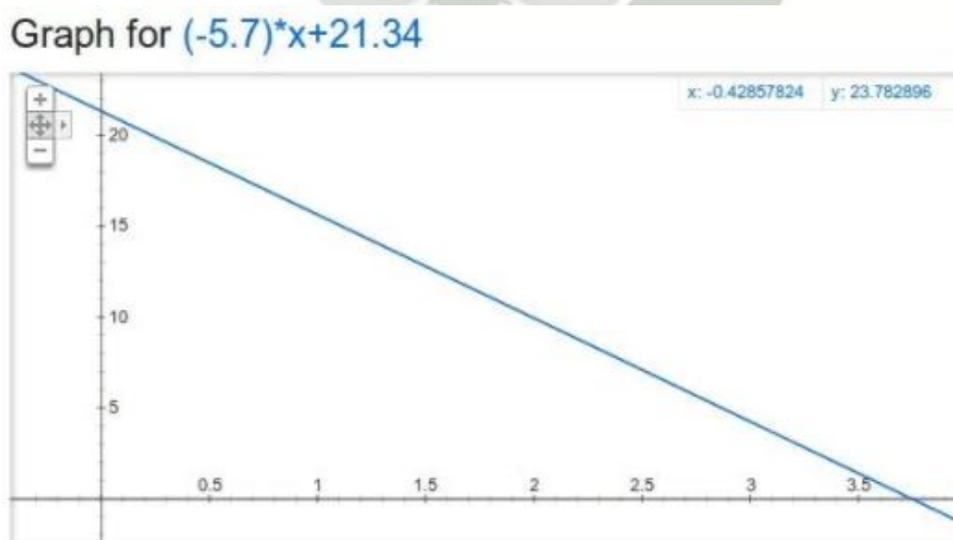


Figura 4.19. Gráfica de la ecuación de conversión entre voltaje y pH medido. $y = -5.70 * x + 21.34$
Fuente: (Elaboración propia)

Si se tiene un convertidor analógico – digital (CAD) de 8 bits y el rango de voltaje de entrada es de 0 a 5 voltios. Con $n = 8$ y $V_{iFS} = 5$ Voltios. La resolución se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Resolución} = V_{iFS} / [2^n - 1] = V_{iFS}/V_{adc}$$

- n = es el número de bits que tiene el Convertidor Analógico Digital
- V_{iFS} = es el voltaje que hay que poner a la entrada del convertidor ADC, para obtener una conversión máxima (todas las salidas serán iguales a “1”)
- V_{adc} : valor decimal

$$\text{Resolución} = 5v / [2^8 - 1]$$

$$\text{Resolución} = 19.61\text{mV}$$

Hallando valores decimales (V_{adc}) utilizando los sobres con pH 4.01 y pH 6.86 con sus respectivos voltajes en el pin Po 3.04V y 2.54V

$$V_{adc} = V_{iFS} / \text{Resolución}$$

Para $V_{iFS}=3.04$:

$$V_{adc} = 3.04V / 19.61\text{mV}$$

$$V_{adc} = 155.00 \approx 153$$

Para $V_{iFS}=2.54$:

$$V_{adc} = 2.54V / 19.61\text{mV}$$

$$V_{adc} = 129.52 \approx 128$$

Por lo tanto nuestra ecuación sería la siguiente para valores de PH y V_{adc} :

$$PH = - m \cdot (V_{adc}) + b$$

Resolviendo las ecuaciones utilizando valores de pH 4.01 y pH 6.86 con sus respectivos valores V_{adc} (valores decimales) de 153 y 128, la ecuación siguiente estará en la programación del PIC en la etapa de diseño de adquisición de la señal de temperatura impermeable y PH. Esto es debido a que la señal de salida del sensor de PH0-14 es análogo y tiene que digitalizarse mediante el PIC.

$$PH = - 0.12 \cdot (V_{adc}) + 22.36$$

Por lo tanto el equivalente del valor del voltaje, PH y valor decimal (Vadc) sería la siguiente tabla:

Tabla 4.2. *Equivalente de voltaje, PH y valor decimal (Vadc)*

Voltaje (Volt)	PH	DEC
0	22	0
0.5	19	26
1	16	51
1.5	13	77
2	10	102
2.5	7	128
3.0	4	153
3.5	1	179
4.0	-2	204
4.5	-5	230
5.0	-8	255

Fuente: (Elaboración propia)

4.2.3. Diseño de adquisición de la señal de humedad y temperatura de ambiente.

Se diseñó la placa siguiente y está ubicado en la parte central del invernadero para la medición de la humedad y temperatura de ambiente ya que la distancia entre la placa central y la ubicación de la misma es aproximadamente 40 metros. El circuito que diseñamos en este punto estará protegido por una caja de pase impermeable de 10cm*10cm*5cm que a su vez estará en la parte central del invernadero a una altura de 2 metros.

La comunicación es serial por cable UTP sobre una distancia de 40 metros. El cable está protegido por tubería PVC pesado para que no esté expuesto a daños y deterioro. La señal de salida del sensor de humedad y temperatura de ambiente DHT22 es digital.

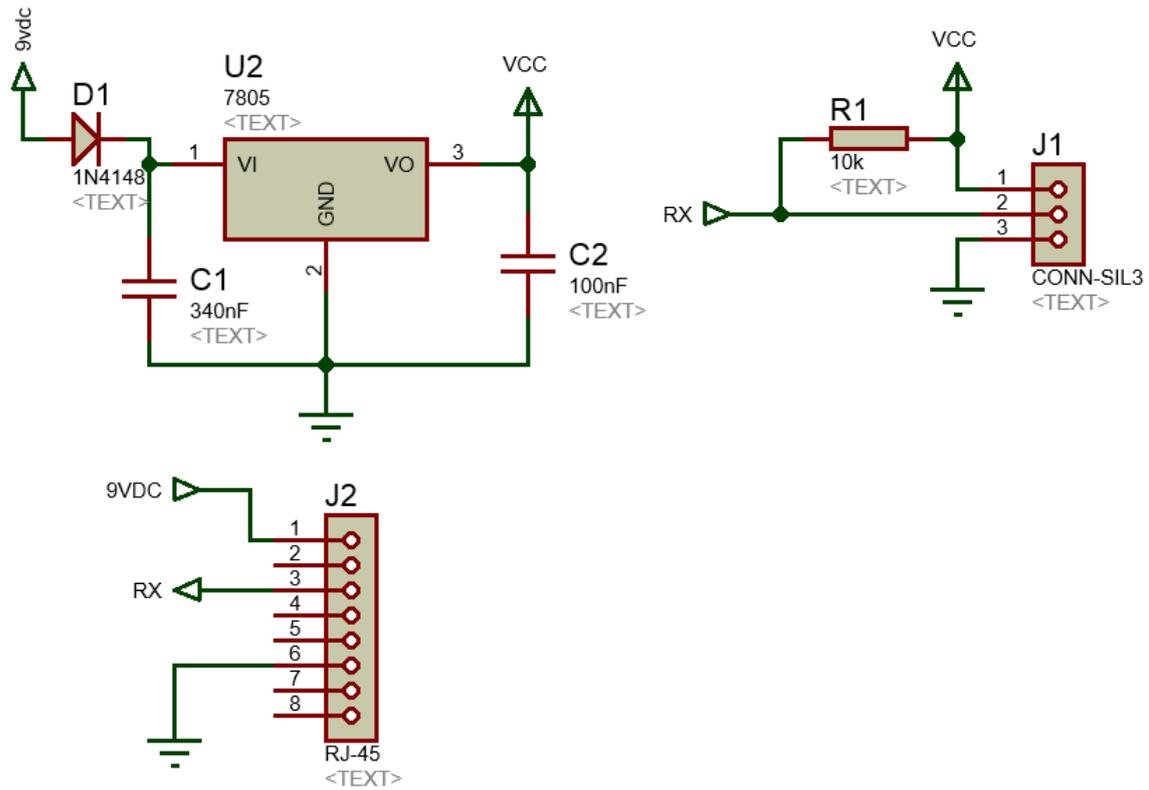


Figura 4.20. Circuito de la señal de humedad y temperatura de ambiente
Fuente: (Elaboración propia)



Figura 4.21. Placa de la señal de humedad y temperatura de ambiente
Fuente: (Elaboración propia)

a) Sensor de temperatura de ambiente DHT22

La humedad relativa nos indica el porcentaje de la humedad que se encuentra en el ambiente y los cultivos en invernaderos necesitan de un nivel regulado para poder lograr la fotosíntesis, por lo que es necesario medir y controlar el ambiente del cultivo. Esto se ve más claramente en invernaderos cerrados. (Cama, Gil, Gómez, García, & Manzano, 2014)

El módulo DHT22 es un sensor de humedad y temperatura de bajo costo con una interfaz digital. El sensor está calibrado y no requiere componentes adicionales por lo que basta con conectarlo para comenzar a tomar mediciones de humedad relativa y temperatura.

El Sensor de humedad y temperatura DHT22 usa un protocolo de comunicación serial propio que ocupa sólo una conexión en uno de sus pines, por esta razón deberíamos usar la información técnica del fabricante para realizar una buena comunicación. Afortunadamente se han desarrollado librerías de Arduino que nos ahorran este trabajo y nos ofrecen funciones de comunicación sin necesidad de pensar en la trama de datos que se envía y recibe. (Rduinostar, 2015)

El sensor de temperatura y humedad DHT22 o AM2302 se une a la familia de los sensores DHT, de los que hasta ahora solo conocíamos la versión anterior el sensor de temperatura y humedad DHT11. El sensor DHT22 supone una mejora considerable en las características técnicas con respecto al DHT11 a cambio de un pequeño incremento en el precio.

Cuando lo que buscamos es cierta precisión en nuestras mediciones, lo más seguro es que el sensor DHT11 nos haya dejado insatisfechos, principalmente por el amplio error en la medición y el escaso rango de temperatura. El sensor DHT22 nace como una evolución natural del DHT11, con mayores rangos de temperatura y humedad, y más precisión. (Llamas, 2016)

Encapsulados:

- El sensor suelto, con una “funda” blanca plástica y cuatro pines de conexión.

- El sensor con la misma funda blanca que el anterior, pero esta vez soldado en una placa y con tres pines de conexión, además de una resistencia pull-up (entre 3-6 k Ω) y un condensador de filtrado (normalmente de 100 nF).

Características técnicas de temperatura:

- Rango de valores desde -40°C hasta 80°C de temperatura.
- Precisión: $\pm 0.5^\circ\text{C}$, $\pm 1^\circ\text{C}$ como máximo en condiciones adversas.
- Tiempo de respuesta: <10 segundos, es decir, de media, tarda menos de 10 segundos en reflejar un cambio de temperatura real en el entorno.
- Resolución Temperatura 0.1°C
- Repetibilidad Temperatura 0.2°C

Características técnicas de humedad relativa:

- Rango de valores desde 0% hasta 99.9% de Humedad Relativa.
- Precisión: $\pm 2\% \text{RH}$, a una temperatura de 25°C.
- Tiempo de respuesta: <5 segundos, es decir, de media, tarda menos de 5 segundos en reflejar un cambio de humedad relativa real en el entorno. Además, para darse esta afirmación, los tests indicaron que la velocidad del aire debe ser de 1 m/s.
- Resolución Humedad 1%RH
- Repetibilidad $\pm 0.3\% \text{RH}$

(IDElectronica, 2017)

Descripción de pines:

La conexión del DH11 y el DHT22 son idénticas, ya que como hemos comentado la única diferencia entre estos modelos son sus prestaciones. En ambos casos, disponemos de 4 patillas, de las cuales usaremos 3, Vcc, Output y GND.

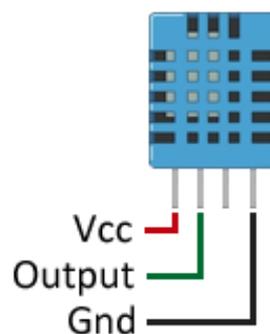
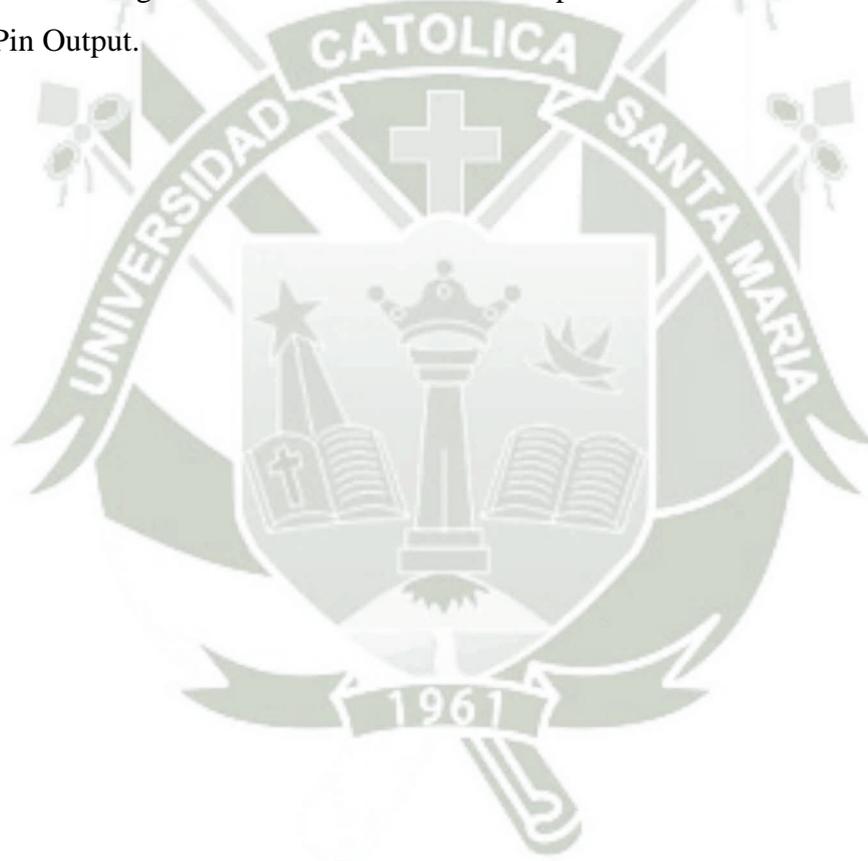


Figura 4.22. Descripción de pines del sensor DHT22
Fuente: (Illamas, 2017)

Conectar el sensor es sencillo, simplemente alimentamos desde Arduino al sensor a través de los pines GND y Vcc del mismo. Por otro lado, conectamos la salida Output a una entrada digital de Arduino. Necesitaremos poner una resistencia de 10K entre Vcc y el Pin Output.



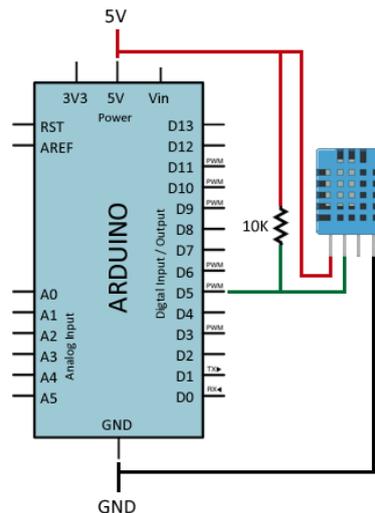
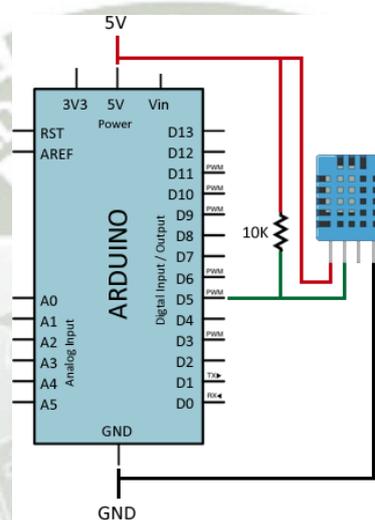


Figura 4.23. El esquema eléctrico del sensor DHT22
Fuente: (llamas, 2017)



(llamas, 2017)

De acuerdo al capítulo anterior se eligió el sensor de humedad y temperatura módulo DHT22 debido dispone una interfaz digital, el sensor esta calibrado de fábrica, debido al bajo costo detallado al final del capítulo.

El sensor DHT22 supone una mejora considerable en las características técnicas con respecto al DHT11 como la repetibilidad, precisión, tiempo de respuesta, resolución, rangos de medición y demás a cambio de un pequeño incremento en el precio.

b) Fuente de alimentación del sensor DHT22

El sensor DHT22 está diseñado para trabajar con una alimentación de 5Vcc estable, utilizaremos a través de un integrado regulador de voltaje LM7805 acompañado de dos condensadores que protegen al circuito de ruidos eléctricos o subidas de voltaje, el valor

de los condensadores utilizados son los recomendados por el fabricante de los integrados reguladores de voltaje (ver Anexo 7), lo valores son de 340nF y 100nF respectivamente como se aprecia en la figura 4.24.

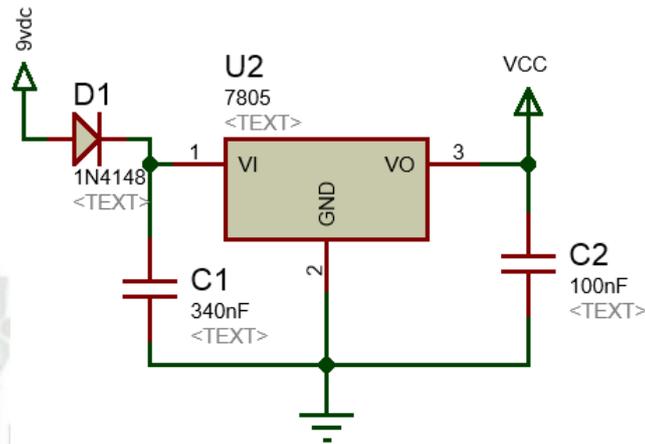


Figura 4.24. Esquemático del regulador de voltaje
Fuente: (Elaboración propia)

4.2.4. Módulo Inalámbrico hc-12 si4463 433 Mhz en modo transmisión

Módulo inalámbrico HC-12 SI4463 para microcontrolador serie, 433 Mhz de largo alcance, con 1000 metros de alcance con la antena para Bluetooth. HC-11 no puede ser conectado para comunicarse con el HC-12, que funcionan de manera independiente, en parejas Transmisor y receptor.

a) Características

- Tensión de Alimentación 3.2 V ~ 5.5 V. (si quieres trabajar en el módulo de lanzamiento estado durante mucho tiempo, se recomienda cuando la tensión de alimentación supera 4.5 V serie con un diodo 1N4007, para evitar el calentamiento del módulo integrado).
- Distancia de comunicación por defecto (prueba abierta): acerca de 600 m (ajustable para lograr la distancia máxima de comunicación de 1000 m, los 5000bps velocidad de transmisión de aire).
- El valor predeterminado de inactividad actual: 16 mA (módulos en corriente de funcionamiento de los diferentes modos de funcionamiento).
- Tamaño Del Módulo: 27.8mm × 14.4mm × 4mm.
- Rango de frecuencia de Funcionamiento (433.4-473.0 MHz, hasta 100 canales de comunicación) de potencia de transmisión Máxima de 100 mW (se puede ajustar)

- El módulo soporta actualizaciones de software. (Ofrecemos a los clientes con las actualizaciones de software)
- La configuración predeterminada de fábrica: velocidad 9600bps, canal de comunicación CH001 (433.4 M).
(ebay, 2017)





Stamp hole package modules, can SMD soldering .

Module Size: 27.8mmX14.4mmX4mm (including antenna cap, not including spring antenna), it is easy to be embedded within the client application systems.

Antenna module PCB with ANT1, the user can coaxial 433M band using th external antenna; welding hole antenna ANT2 is in the module, the user welded spring antenna.

Users can use requirements, select one of the antenna.

VCC: 3.2v ~ 5.5v

GND: ground

RXD: TTL level input port

TXD: TTL-level output

SET: parameter setting control pin, active low

ANT1: PCB Antenna

ANT2: Antenna welding hole

Figura 4.25. Modulo Inalámbrico hc-12 si4463 -433 Mhz
Fuente: (ebay, 2017)

Tabla 4.3. Configuración de los módulos de potencia transmitida, x deseable 1-8, la potencia de transmisión del módulo correspondiente de la siguiente manera.

X value	1	2	3	4	5	6	7	8
Module transmit power (dBm)	-1	2	5	8	11	14	17	20

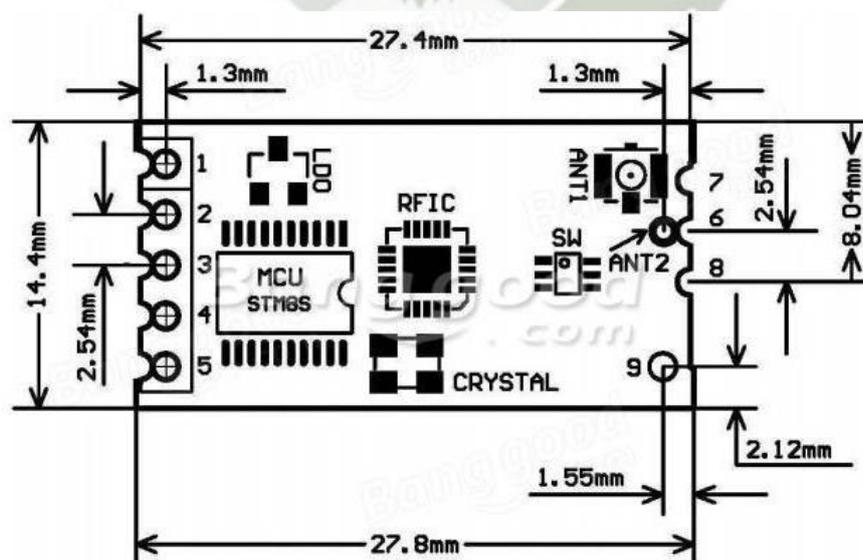


Figura 4.26. Diagrama del circuito para modulo inalámbrico hc-12 si4463 - 433 Mhz
Fuente: (Banggood, 2017)

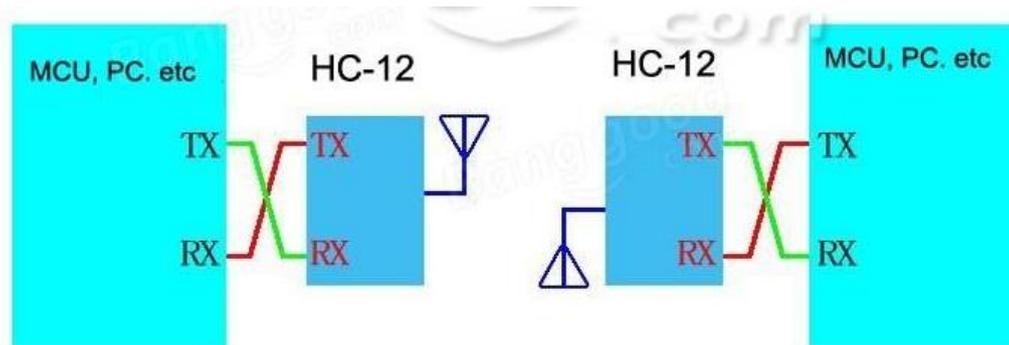


Figura 4.27. Conexión para módulo inalámbrico hc-12 si4463 - 433 Mhz
Fuente: (Banggood, 2017)

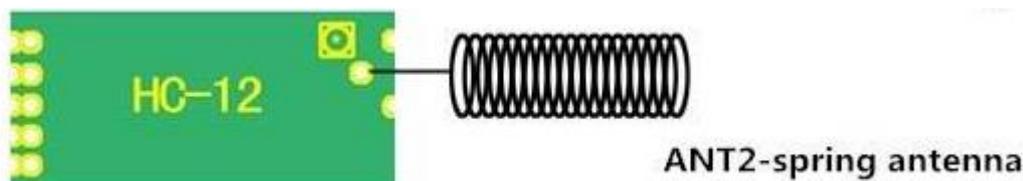


Figura 4.28. Conexión de la antena tipo resorte
Fuente: (Banggood, 2017)

Módulo GPRS/GSM SIM900 850/900/1800/1900 MHz

El Módulo GPRS Shield está basado en el módulo SIM900 de SIMCOM y es compatible con Arduino y sus clones. El GPRS Shield le proporciona una forma de comunicarse utilizando la red de teléfonos celulares GSM.

La tarjeta le permite obtener SMS, MMS, GPRS y audio a través de UART mediante el envío de comandos AT. Solo conecta la tarjeta al microcontrolador, Arduino, etc, y comienza a comunicarte a través de comandos AT. Ideal para sistemas remotos, comunicación recursiva, puntos de control, mandar mensajes de texto a celulares entre otros.

Características

- Banda cuádruple 850/900/1800/1900 MHz - funcionaría en redes GSM en todos los países del mundo.
- GPRS multi-slot clase 10/8
- Estación móvil GPRS clase B
- Conforme a la fase GSM 2/2 +
- Clase 4 (2 W @ 850/900 MHz)
- Clase 1 (1 W @ 1800 / 1900MHz)
- Control mediante comandos AT - Comandos estándar: GSM
- Comandos mejorados: Comandos SIMCOM AT.

- Servicio de mensajes cortos - para que pueda enviar pequeñas cantidades de datos a través de la red (ASCII o hexadecimal en bruto).
- Pila TCP / UDP incorporada: le permite cargar datos en un servidor web.
- RTC compatible.
- Puerto serie seleccionable.
- Altavoz y auriculares
- Bajo consumo de energía - 1.5mA (modo de suspensión)
- Rango de temperatura industrial - -40 ° C a +85 ° C
- Tamaño: 8.5x5.7x2cm (aprox)
- (Lara, Hetpro, 2015)



Figura 4.29. Módulo SIM900 850/900/1800/1900 MHz GPRS/GSM
Fuente: (Lara, Hetpro, 2015)

4.3. Diseño de la central de monitoreo

En la etapa central de monitoreo está referido al circuito encargado de realizar la muestras de la medición en una pantalla LCD de los parámetros de PH, temperatura del agua, temperatura del ambiente y humedad enviados desde la etapa central del proyecto (sistema de medición, procesamiento y comunicación de datos) de manera inalámbrica, posteriormente receptionados por el módulo inalámbrico en la etapa central de monitoreo, luego gestionar las señales de recepción mediante el microcontrolador PIC16F877A. El microcontrolador PIC16F877A es el componente principal de la etapa central de monitoreo.

La distancia entre el sistema de medición, procesamiento y comunicación de datos y el central de monitoreo es de 300 metros aproximadamente sin línea de vista.

La etapa central de monitoreo está ubicada en el centro de control de la empresa Fagsol S.A.C. donde se realiza supervisión de los datos censados.

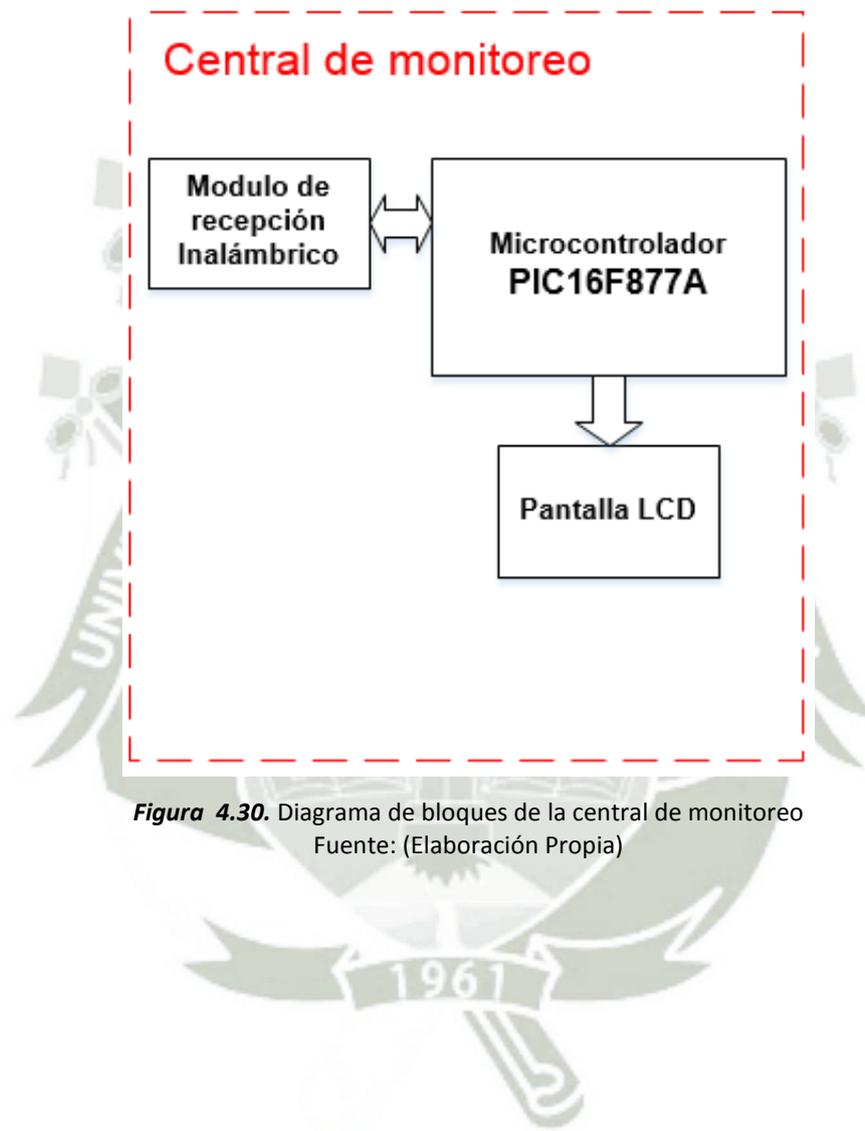


Figura 4.30. Diagrama de bloques de la central de monitoreo
Fuente: (Elaboración Propia)

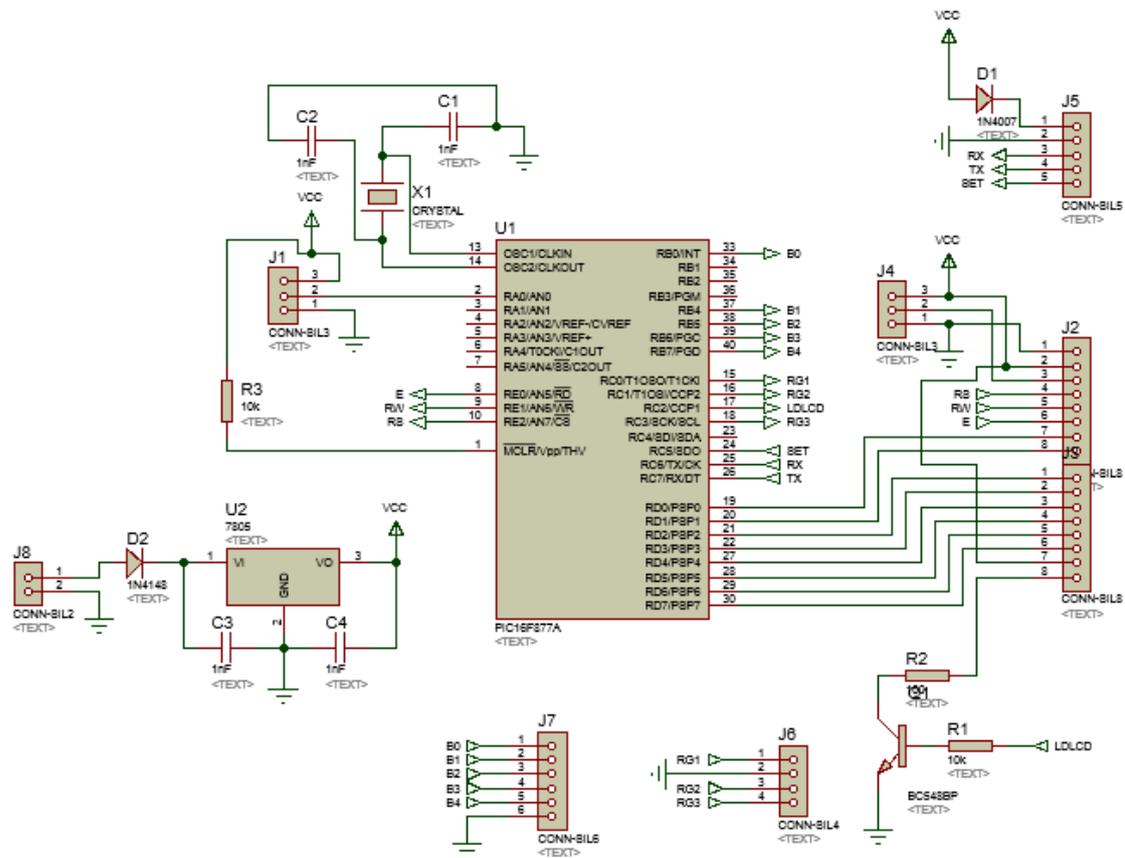


Figura 4.31. Esquemático de los pines utilizados en el microcontrolador para la central de monitoreo
Fuente: (Elaboración propia)

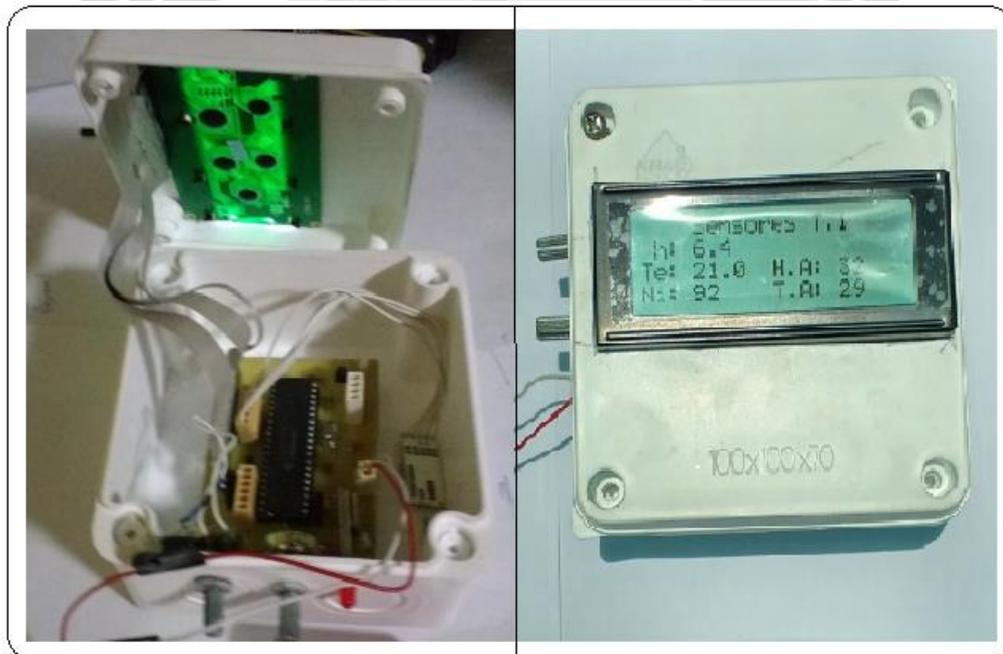


Figura 4.32. Central de monitoreo
Fuente: (Elaboración propia)

4.3.1. Configuración básica del PIC16F877A

Como ya se mencionó anteriormente para la etapa principal, en esta etapa el microcontrolador necesita una serie de configuraciones básicas que garanticen su correcto funcionamiento. Las configuraciones son:

- La fuente de alimentación (5Vcc),
- La velocidad a la que va a trabajar (circuito oscilador)
- La configuración del puerto MCLR

a) Fuente de alimentación del microcontrolador

El microcontrolador está diseñado para trabajar con una alimentación de 5Vcc estable, es decir que su voltaje de salida sea + 5Vcc en todo momento a través de un integrado regulador de voltaje LM7805 acompañado de dos condensadores que protegen al circuito de ruidos eléctricos o subidas de voltaje, el valor de los condensadores utilizados son los recomendados por el fabricante de los integrados reguladores de voltaje (ver Anexo 7), lo valores son de 1nF y 1nF respectivamente como se aprecia en la figura 4.33.

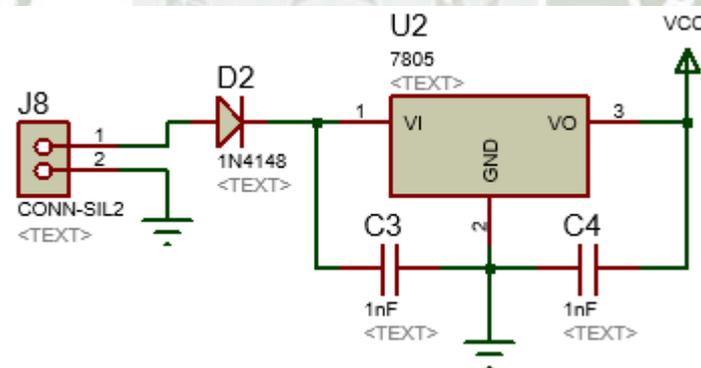


Figura 4.33. Esquemático del regulador de voltaje

Fuente: (Elaboración propia)

b) Diseño del circuito oscilador de frecuencia

El microcontrolador ya dispone de un oscilador incorporado, y no puede funcionar sin componentes externos que estabilizan su funcionamiento y determinan su frecuencia (velocidad de operación del microcontrolador).

Al utilizar el cristal de cuarzo para estabilizar la frecuencia, un oscilador incorporado funciona a una frecuencia determinada, y no es afectada por los cambios de temperatura y de voltaje de alimentación. El oscilador recomendado y el que estamos utilizando en

este proyecto es para el tipo de aplicación que estamos realizando como es la transmisión serial de datos es el de frecuencia de reloj de 4 Mhz según la hoja de datos del fabricante (ver Anexo 2). Los condensadores son iguales con valores 1nF respectivamente según valores permitidos por el fabricante.

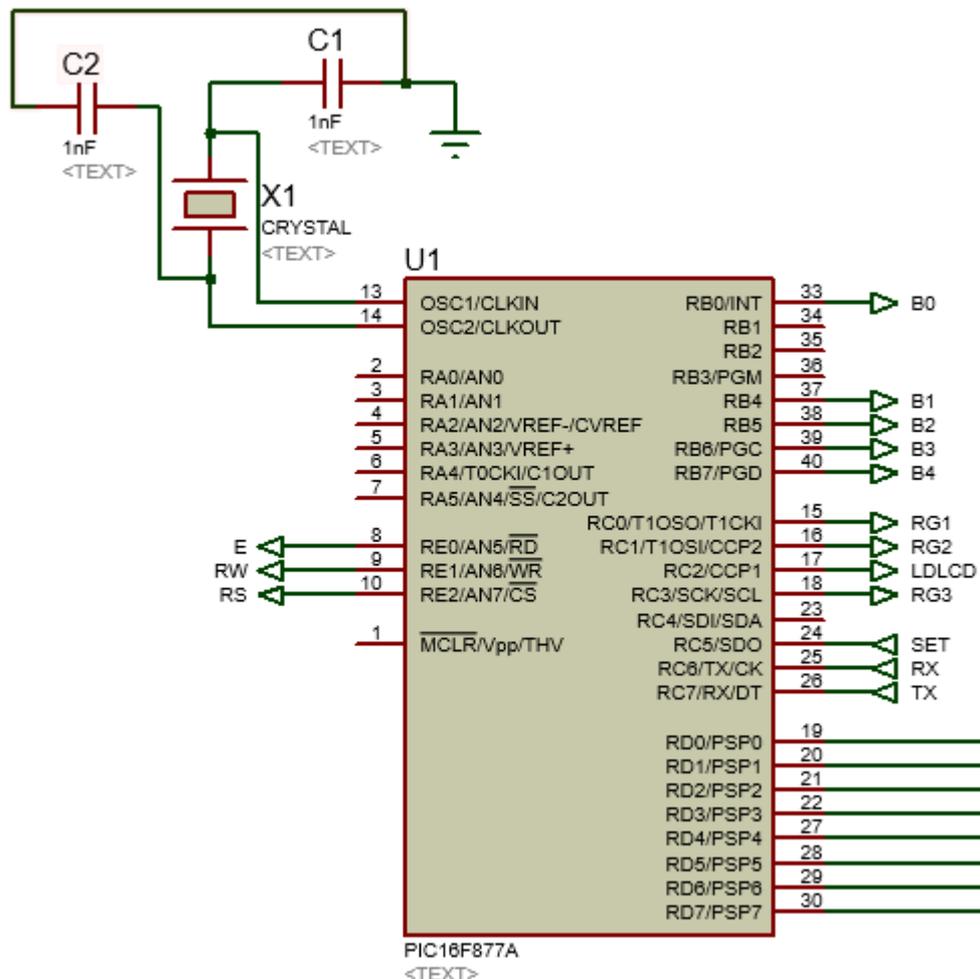


Figura 4.34. Circuito oscilador de frecuencia
Fuente: (Elaboración propia)

c) Configuración del puerto de reset general

El puestro MCLR del microcontrolador sirve para reiniciar el programa que se está corriendo en el PIC, este suele ser usado al existir una falla en el programa. Cuando se ejecuta un RESET, se producen dos acciones importantes:

- El contador de programa se vuelve a colocar en el principio del programa.
- Los registros modificados vuelven a su estado normal.

La señal de reset se aplica al pin /MCLR. Esta entrada se activa por una transición de pendiente negativa es decir en la transición de un 1 a un 0 lógico, el sistema permanece

en estado de RESET al encontrarse este pin a una entrada negada; por lo cual tendremos que conectarlo a la alimentación positiva VCC si queremos que nuestro PIC funcione.

La configuración utilizada será la que se muestra en la siguiente figura 4.35:

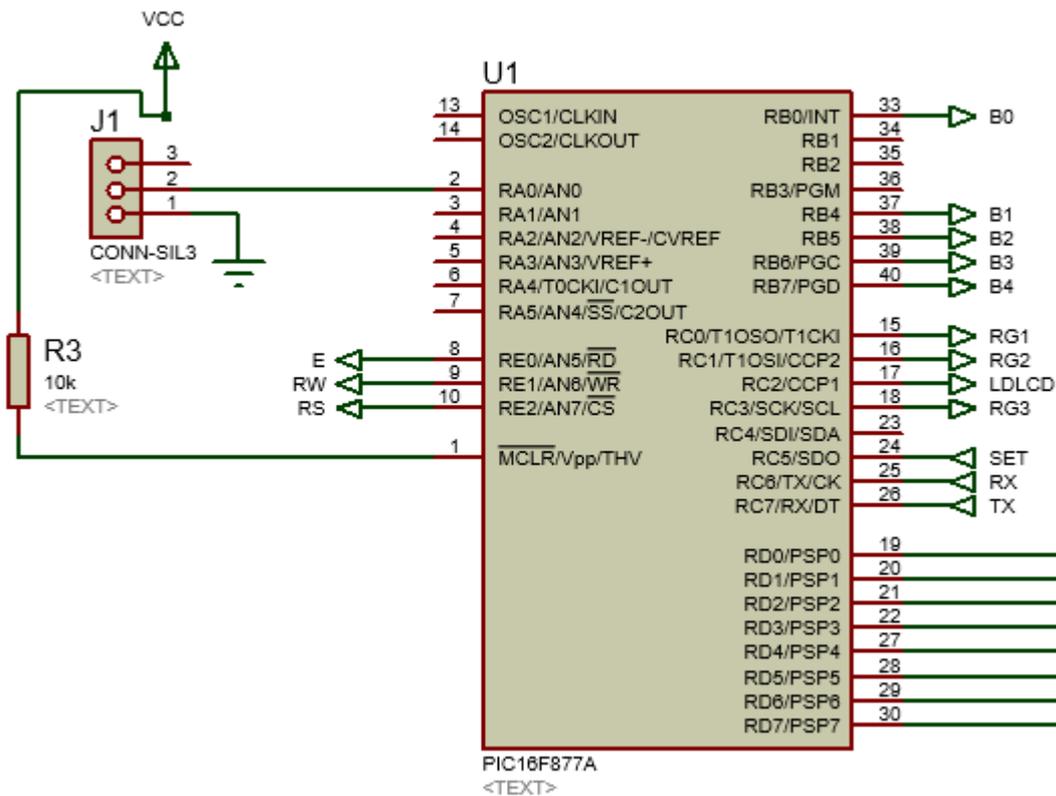


Figura 4.35. Circuito de RESET general
Fuente: (Elaboración propia)

El microcontrolador puede soportar una corriente máxima en cada uno de sus pines de 25 mA, y la alimentación que requiere es de 5V; entonces para saber el valor de la resistencia que se debe colocar para el circuito de reset se calcula a través de la ley de Ohm:

$$R = \frac{V}{I}$$

Dónde:

R= resistencia

V= Voltaje

I= Intensidad

$$R = \frac{5V}{0.025 A}$$

$R = 200 \Omega \approx$ Valor comercial 220Ω

Por lo que se debemos utilizar una resistencia mínima de 220Ω , pero estaríamos al límite de la corriente que soportaría el PIC, entonces lo aconsejable es colocar una resistencia entre $1K \Omega$ y $10 K \Omega$, así el PIC estaría trabajando con corrientes entre 5 mA a 0.5 mA .

Se está considerando una resistencia de $10 K \Omega$ para nuestro diseño ya que cumple los límites permitidos de corriente.

Potencia de la resistencia:

$$P_{R1} = V * i$$

$$P_{R1} = 5 V * 0.005 A$$

$$P_{R1} = 0.025 W \approx \frac{1}{4} W \text{ valor comercial}$$

4.3.2. Módulo de pantalla LCD de caracteres 20x4

El módulo ERM2004FS-2 tiene 20 caracteres de ancho, 4 filas de caracteres, módulo lcd, controlador SPLC780C (controlador compatible con la industria HD44780), 6800 interfaz paralela de 4/8 bits, luz de fondo individual con color blanco incluido puede atenuarse fácilmente con una resistencia o PWM, texto positivo en fstn-lcd, negro en el color blanco, alto contraste, amplio rango de temperatura de funcionamiento, ángulo de visión amplio, el juego de caracteres integrado admite texto en inglés / japonés, consulte la hoja de datos SPLC780C para ver el conjunto completo de caracteres. Fuente de alimentación 3.3v o 5v y conexión de conector de pines opcional. Aquí hay un enlace para 3.3V. Ideal para utilizarse en proyectos de arduino y con microcontroladores PIC.

Se puede utilizar en cualquier sistema embebido, dispositivo industrial, equipo de seguridad, médico y de mano.



Figura 4.36. Módulo de pantalla LCD de caracteres 20x4
Fuente: (ebay, 2017)

Para nuestro diseño se acoplo un transistor de código BC548B para modificar el brillo del LCD y generar el ahorro de energía como se observa en la figura 4.37.

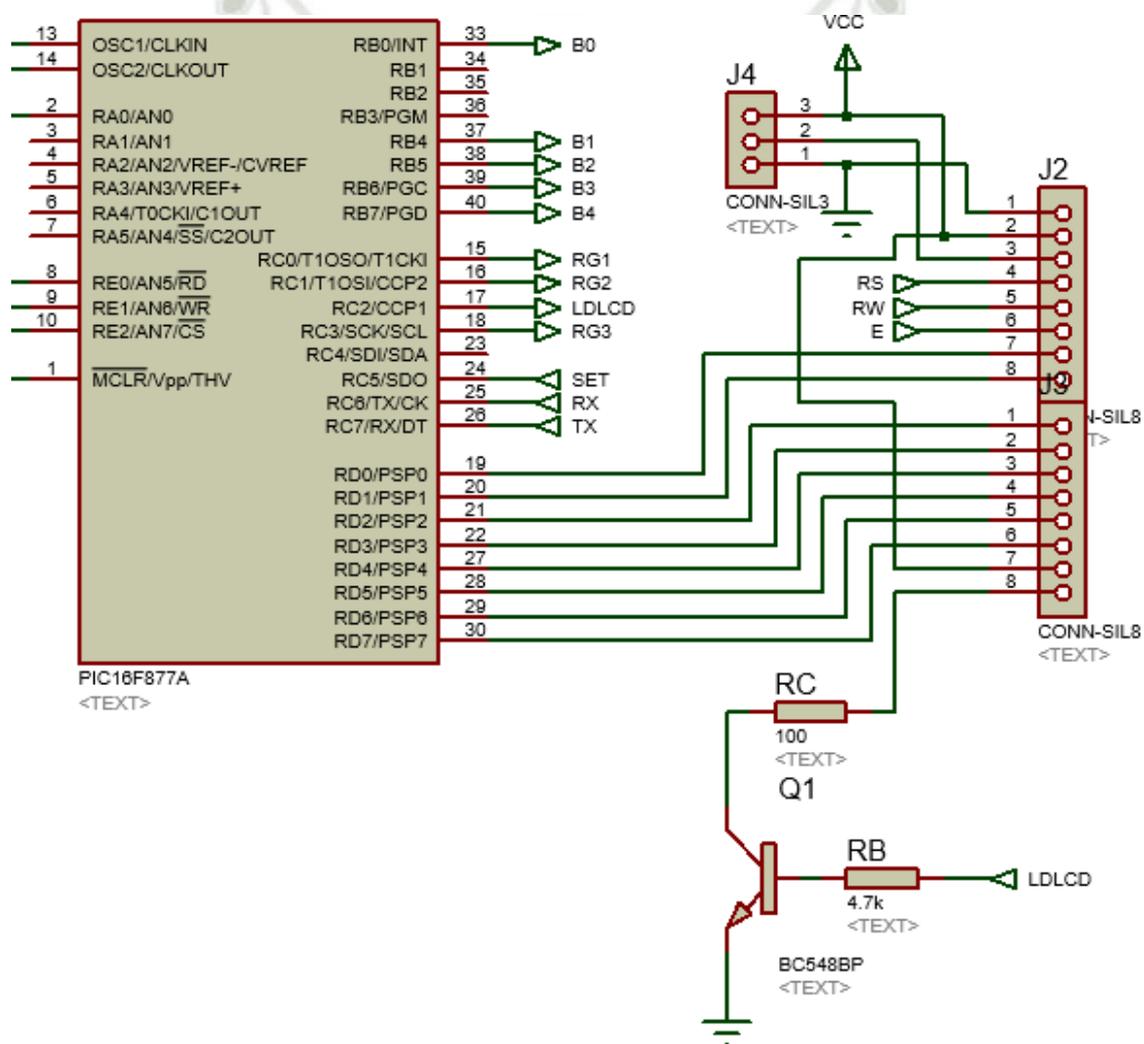


Figura 4.37. Circuito de acoplamiento del transistor BC548B
Fuente: (Elaboración propia)

Realizando el diseño de los valores de las resistencias R1 y R2, el circuito equivalente sería el siguiente:

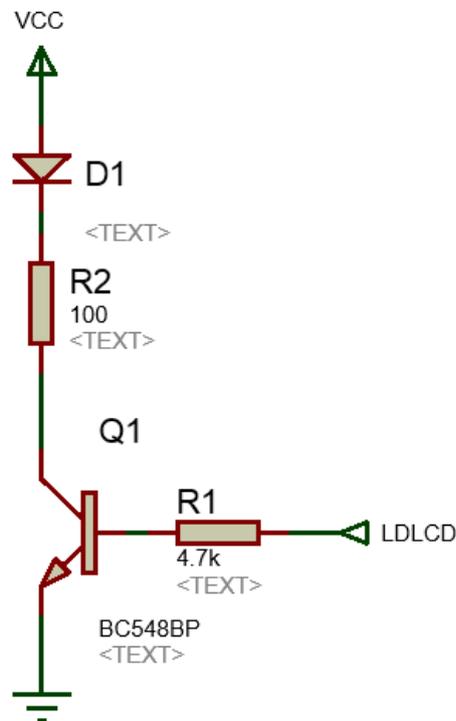


Figura 4.38. Circuito equivalente para el diseño de las resistencias R1 Y R2 para el transistor BC548B
Fuente: (Elaboración propia)

Donde $V_{cc} = 5V$, voltaje que sale del LCD del Pin 7 (“A” según hoja de datos adjunto en anexo), voltaje que sale desde el PIC es $V_{ldlcd} = V_b = 5V$ y valor de la corriente colector máxima del LED para diseño es $I_c = 75mA$. Ahora acudiremos a la hoja de datos del transistor BC548B, tomando los valores para $B = 180$:

$$\text{Si: } B = 180 \text{ e } I_c = 75mA$$

$$I_c = B \cdot I_b$$

$$I_b = 0.42mA$$

Para el cálculo de R1 se sabe que:

$$V_b = I_b \cdot R1 + V_{be}$$

Entonces:

$$5V = (0.42mA) \cdot (R1) + 0.7$$

$$4.3 = (0.42mA) \cdot R1$$

$$R1 = 10.32K \Omega \rightarrow 4.7K \Omega \text{ valor comercial}$$

Hallamos R1 con 75mA como referencia por ser la máxima corriente permitida en Ic para su óptimo funcionamiento.

Para el cálculo de R2 se sabe que:

$$V_{cc} = V_c + V_{ce} + V_{led}$$

Donde para obtener 5V. Eficientemente, $I_c = 75\text{mA}$, $V_{led} = 0.8\text{v}$ y $V_{ce} = 0$:

$$5\text{V} = 75\text{mA} \cdot R_2 + 0.8$$

$$R_c = 56 \Omega \rightarrow 101 \Omega \text{ valor comercial}$$

4.3.3. Módulo Inalámbrico hc-12 si4463 433 Mhz en modo Recepción

Módulo inalámbrico HC-12 SI4463 para microcontrolador serie, 433 Mhz de largo alcance, con 1000 metros de alcance para Bluetooth.

Características

- Tensión de Alimentación 3.2 V ~ 5.5 V. (si quieres trabajar en el módulo de lanzamiento estado durante mucho tiempo, se recomienda cuando la tensión de alimentación supera 4.5 V serie con un diodo 1N4007, para evitar el calentamiento del módulo integrado).
- Distancia de comunicación por defecto (prueba abierta): acerca de 600 m (ajustable para lograr la distancia máxima de comunicación de 1000 m, los 5000bps velocidad de transmisión de aire).
- El valor predeterminado de inactividad actual: 16 mA (módulos en corriente de funcionamiento de los diferentes modos de funcionamiento).
- Tamaño Del Módulo: 27.8mm × 14.4mm × 4mm.
- Rango de frecuencia de Funcionamiento (433.4-473.0 MHz, hasta 100 canales de comunicación) de potencia de transmisión Máxima de 100 mW (se puede ajustar)
- El módulo soporta actualizaciones de software. (Ofrecemos a los clientes con las actualizaciones de software)
- La configuración predeterminada de fábrica: velocidad 9600bps, canal de comunicación CH001 (433.4 M). (ebay, 2017)



Stamp hole package modules, can SMD soldering .
 Module Size: 27.8mmX14.4mmX4m (including antenna cap, not including spring antenna), it is easy to be embedded within the client application systems.
 Antenna module PCB with ANT1, the user can coaxial 433M band using th external antenna; welding hole antenna ANT2 is in the module, the user welded spring antenna.
 Users can use requirements, select one of the antenna.

- VCC: 3.2v ~ 5.5v
- GND: ground
- RXD: TTL level input port
- TXD: TTL-level output
- SET: parameter setting control pin, active low
- ANT1: PCB Antenna
- ANT2: Antenna welding hole

Figura 4.39. Modulo Inalámbrico hc-12 si4463 -433 Mhz
 Fuente: (ebay, 2017)

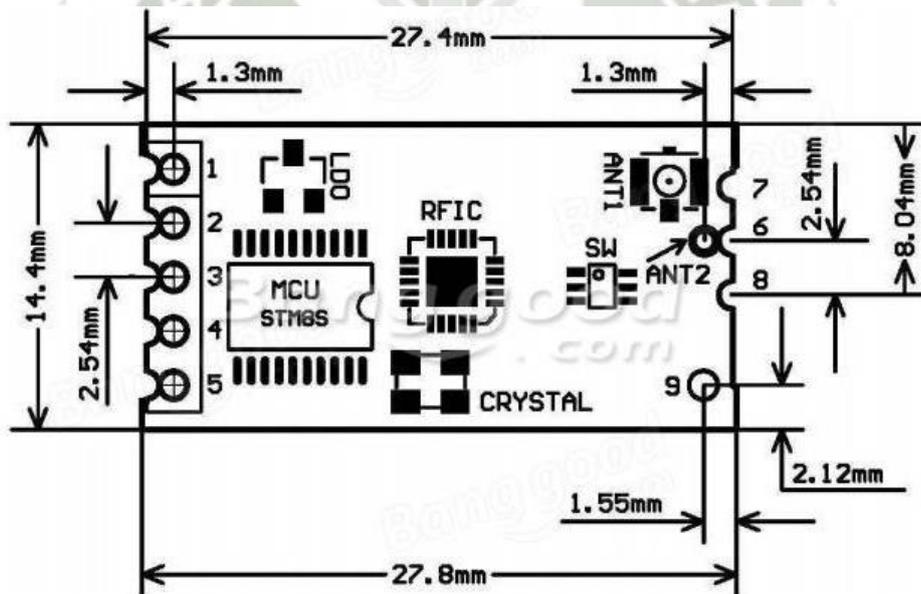


Figura 4.40. Diagrama del circuito para modulo inalámbrico hc-12 si4463 - 433 Mhz
 Fuente: (ebay, 2017)

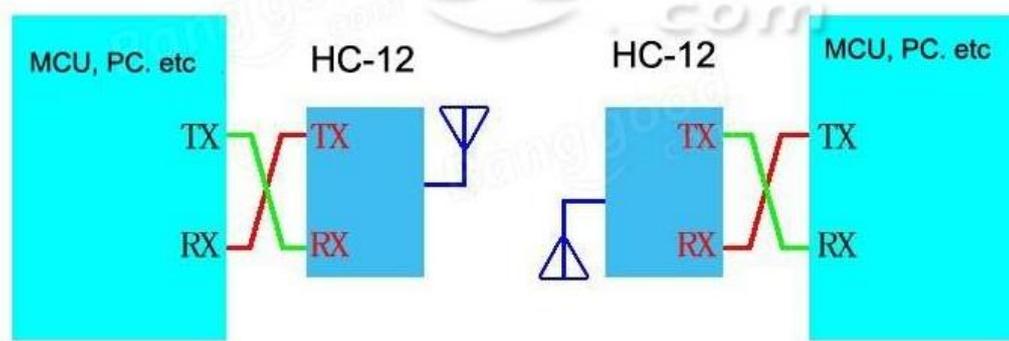


Figura 4.41. Conexión para módulo inalámbrico hc-12 si4463 - 433 Mhz
Fuente: (Banggood, 2017)

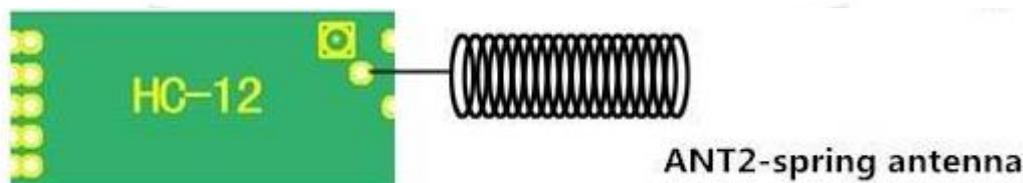


Figura 4.42. Conexión de la antena tipo resorte
Fuente: (Banggood, 2017)

4.3.4. Diagrama de flujo de la programación del sistema general

Este punto tratará acerca del desarrollo del software a implementarse dentro del microcontrolador, de la aplicación del equipo central de recolección de datos, además de la construcción del hardware del equipo. El software controlará al microcontrolador de manera que permita la recolección y envío de datos de forma eficaz.

Las funciones de alerta y consulta están codificadas dentro de la programación del microcontrolador, en ella la medición de parámetros censados es el factor determinante a fin de pasar de un modo a otro.

En el caso de que los niveles máximos y mínimos se registren, el sistema se pondrá en modo de ALERTA, registrará todas las mediciones y enviará un mensaje de texto o trama indicando peligro. En el modo CONSULTA, son los rangos comprendidos, registrará todas las mediciones y enviará un mensaje de texto o trama indicando los datos medidos, estos dos puntos generan una sentencia (propia del módulo SIM900) y es transmitida de forma serial al microcontrolador, el cual posee una función de lectura de caracteres dentro de la programación.

Tabla 4.4. Límites permitidos para los valores censados

	Valor mínimo	Valor normal	Valor máximo
Temperatura impermeable	5 °C	20 °C	25 °C
PH	5	6	7
Temperatura de ambiente	5 °C	25 °C	45 °C
Humedad	5 %	50%	70%

Fuente: (Elaboración Propia)

A continuación el diagrama de flujo de la programación del microcontrolador es mostrado en las siguientes figuras:





Figura 4.43. Diagrama de flujo de la etapa del sistema de medición, procesamiento y comunicación de datos - Obtención y envío de datos
Fuente: (Elaboración propia)



Figura 4.44. Diagrama de flujo de la etapa del sistema de medición, procesamiento y comunicación de datos – Alerta por mensaje de texto SMS para valores máximos y mínimos.

Fuente: (Elaboración propia)



Figura 4.45. Diagrama de flujo de la etapa central de monitoreo
Fuente: (Elaboración propia)

4.4. Costos del prototipo

Los costos del prototipo puede definir el costo total para la implementación de un sistema de comunicación celular utilizando tecnología GSM

El presupuesto incluye los elementos descritos en la construcción del prototipo. Es necesario incluir los costos de desarrollo del diseño y del software. Los costos detallados a continuación:

Tabla 4.5. Costos de elementos y materiales

Cantidad	Descripción	Valor	Valor
		Unitario (S/.)	Total (S/.)
01	Módulo GSM/GPRS SIM900	190.00	190.00
02	Módulo inalámbrico HC-12 SI4463	39.00	78.00
01	Sensor PH liquido PH0-14	200.00	200.00
01	Sensor de temperatura y humedad DHT22	45.00	45.00
01	Sensor de temperatura a prueba de agua DS18B20	16.00	16.00
01	Pantalla LCD 20*20 HD44780	85.00	85.00
02	Fuente de alimentación 9V DC- 2A	20.00	40.00
02	Pic 16F877A	15.00	30.00
02	Pic 12F675	7.00	14.00
01	Celular K4	369.00	369.00
01	Accesorios varios	400.00	400.00
	Total (S/.)		1,467.00

Fuente: (Elaboración propia)

El tiempo utilizado en la implementación de este proyecto fue de 304 horas aproximadamente. Se estableció un valor de 7.5 soles por hora de diseño y desarrollo, basándose en los costos actuales de la hora técnica del mercado laboral peruano.

Tabla 4.6. Costos totales

Elementos y materiales (S/.)	1,467.00
Diseño y desarrollo (S/.)	2,280.00
TOTAL (S/.)	3,747.00

Fuente: (Elaboración propia)

CAPITULO V

EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

5.1.Introducción

Las pruebas realizadas en campo se efectuaron en la Quebrada de Coscollo en San Martín de Socabaya, en el distrito de Socabaya de la ciudad de Arequipa, cuyas coordenadas geográficas del punto medición fueron en Latitud: 16°26.40' y Longitud 71°31.31'. Es importante dar las condiciones necesarias al sistema a fin de que nuestras mediciones garanticen una real variación de valores censados, estas recomendaciones han sido puestas en práctica durante la instalación del sistema en un ambiente real. En las figuras siguientes se puede apreciar el acoplamiento de los componentes en diferentes etapas, los módulos debidamente acondicionados a perturbaciones propias del medio.

Es preciso señalar que se experimentarán los procesos de CONSULTA y ALERTA tanto desde la central de monitoreo y desde un terminal móvil, éste último permitirá a una persona, grupo de personas o jefe del centro de control poder tomar las precauciones debidas frente al inminente variación de valores máximos y mínimos permitidos.

Como se indicó al inicio del capítulo, se realizaron pruebas con un terminal celular, esto con el objetivo de alertar a una persona, grupo de personas o jefe del centro de control y así tomar acción ante un posible estrés de las plantas y evitar una posible pérdida del cultivo. Las mismas funciones realizadas por la central de monitoreo son también realizables desde un teléfono móvil, tanto en modo consulta como en ser alertado, con la diferencia que el mensaje enviado será un mensaje de texto SMS donde los parámetros son detallados a fin de que la persona pueda interpretar las mediciones.

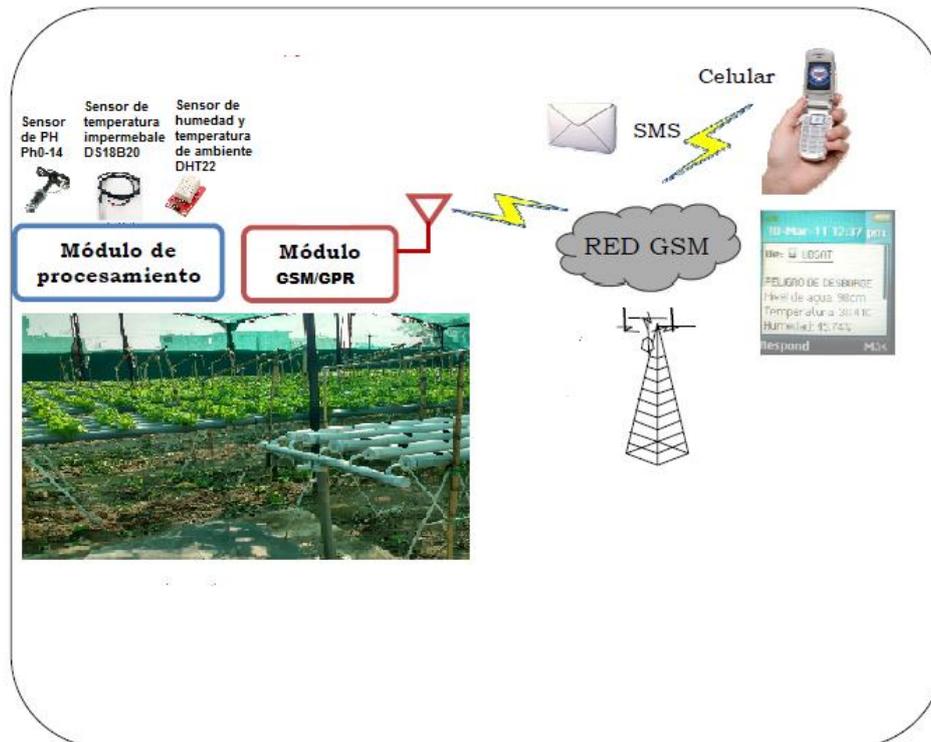
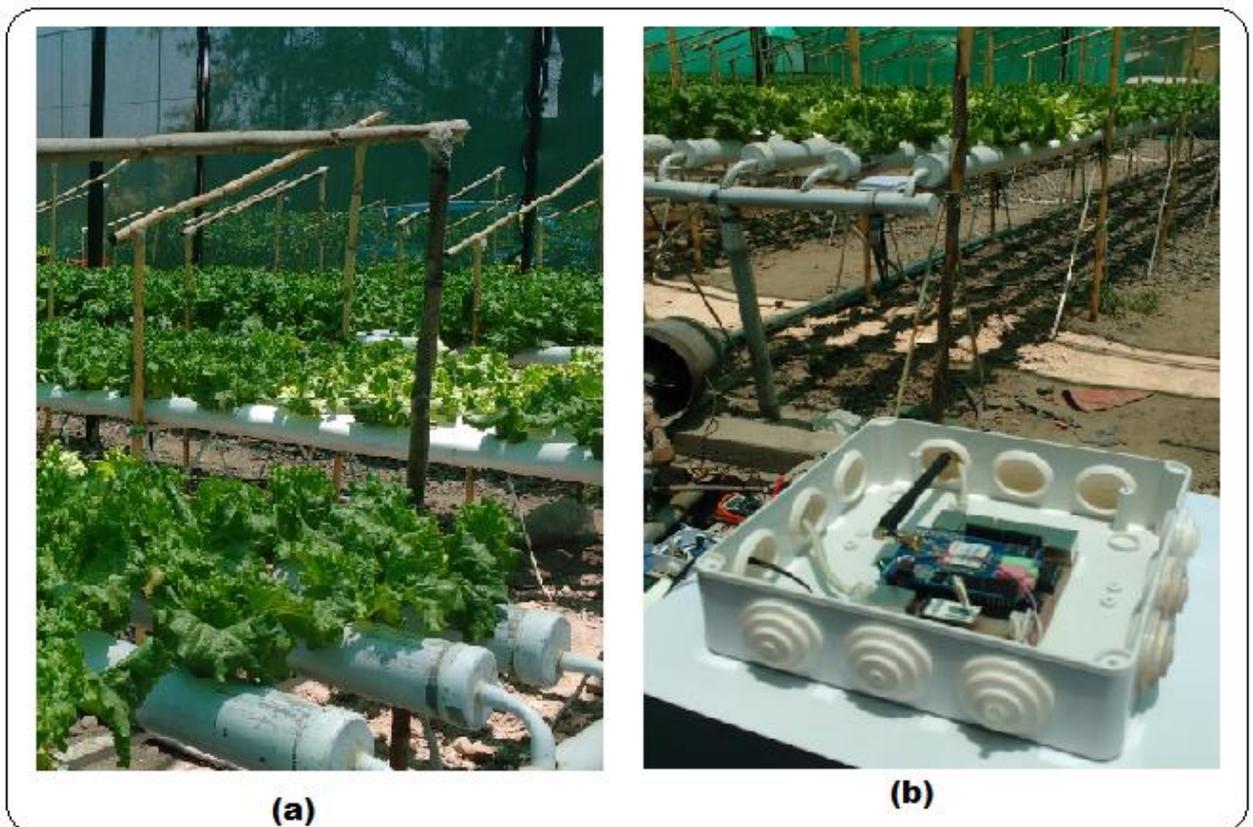


Figura 5.1. Ilustración de la recepción del mensaje de texto al terminal móvil.
Fuente: (Elaboración propia)



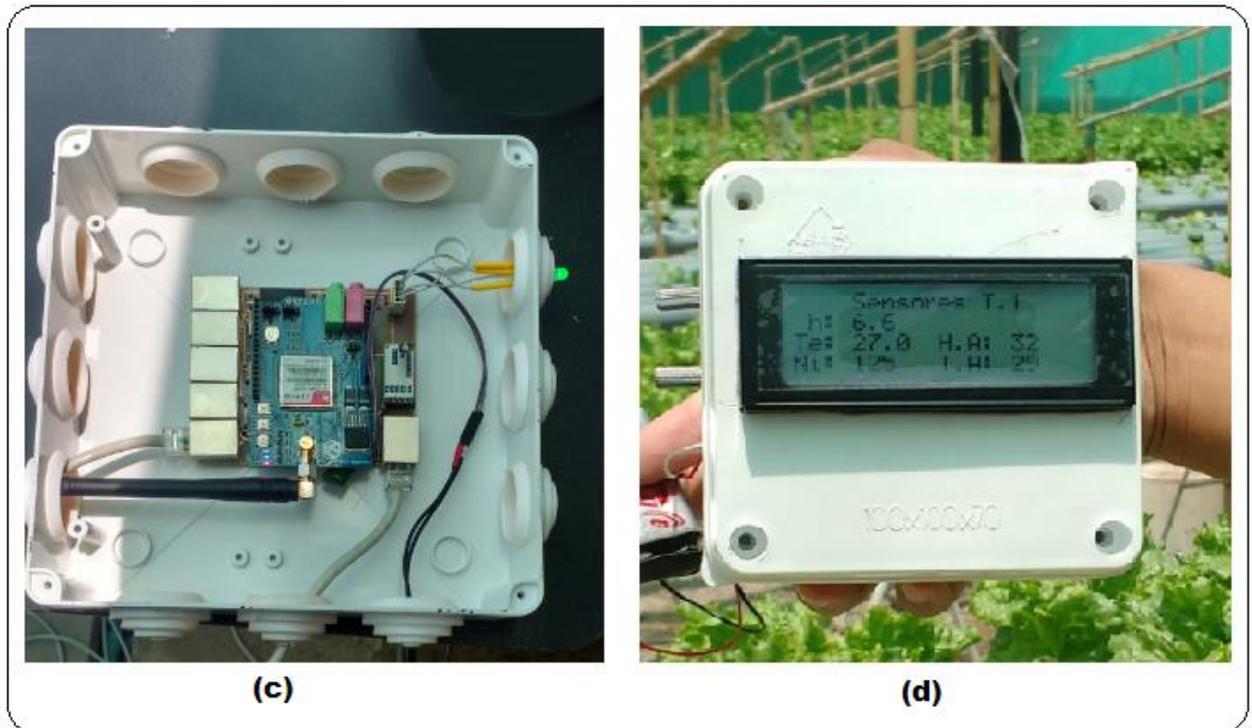


Figura 5.2. Sistema de comunicación celular GSM. (a) Lugar de instalación. (b) Sistema de medición en funcionamiento. (c) Sistema de medición, procesamiento y comunicación de datos. (d) Central de monitoreo.

Fuente: (Elaboración propia)

5.2. El sistema de medición en campo

La implementación del sistema de medición es mostrada en la figura 5.3., en ella se aprecia el diseño de una placa de circuitos protegidos en una caja de pase hermética para los dos sensores indicadores de temperatura impermeable y PH ya que están ubicados cerca del estanque colector. Los sensores de temperatura impermeable y PH será sumergidos en el estanque colector para la toma de datos cuya longitud del cable es de 1.5 metros de la placa de circuitos para ambos sensores. La implementación del sistema de medición del PH y la temperatura del agua está ubicada a 20 metros aproximadamente de la placa principal del sistema cuyo medio de comunicación es el cable UTP categoría 6 puesto que la comunicación es serial, el cable UTP está protegido por tubería PVC pesado para evitar posible deterioro y sea dañado por agentes externos. Todos estos componentes del sistema van acoplados para tal fin.



Figura 5.3. Implementación del sistema de medición del PH y la temperatura del agua.
Fuente: (Elaboración propia)

En el caso de registrar una medición para la temperatura del agua con un valor de $0.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (se usó hielo para poder determinar la simulación) y un PH de 4 ambos fuera de los valores normales (se usó solución acida de calibración para poder determinar la simulación), el sistema enviara un mensaje de texto SMS de alerta al celular de un usuario (equipo terminal) y un indicador de alerta a la central de monitoreo que se mostrara en el LCD y también por un indicador LED, dependiendo de la programación establecida con los rangos mínimos y máximos mostrados en el capítulo anterior.

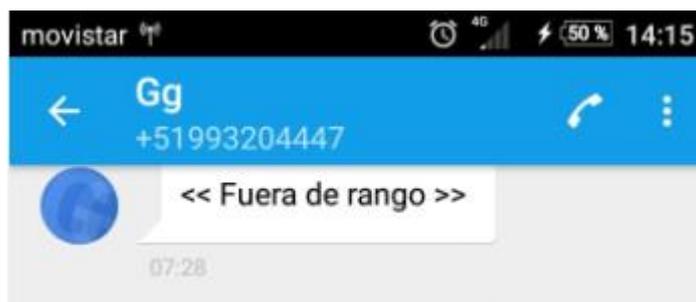


Figura 5.4. Medición de alerta para una temperatura 0.0 °C en el equipo terminal
Fuente: (Elaboración propia)



Figura 5.5. Medición de alerta para una temperatura 0.0 °C en la central de monitoreo
Fuente: (Elaboración propia)

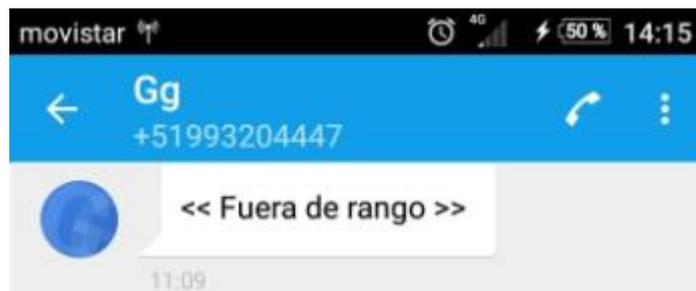


Figura 5.6. Medición de alerta para un PH de 4 en el equipo terminal
Fuente: (Elaboración propia)

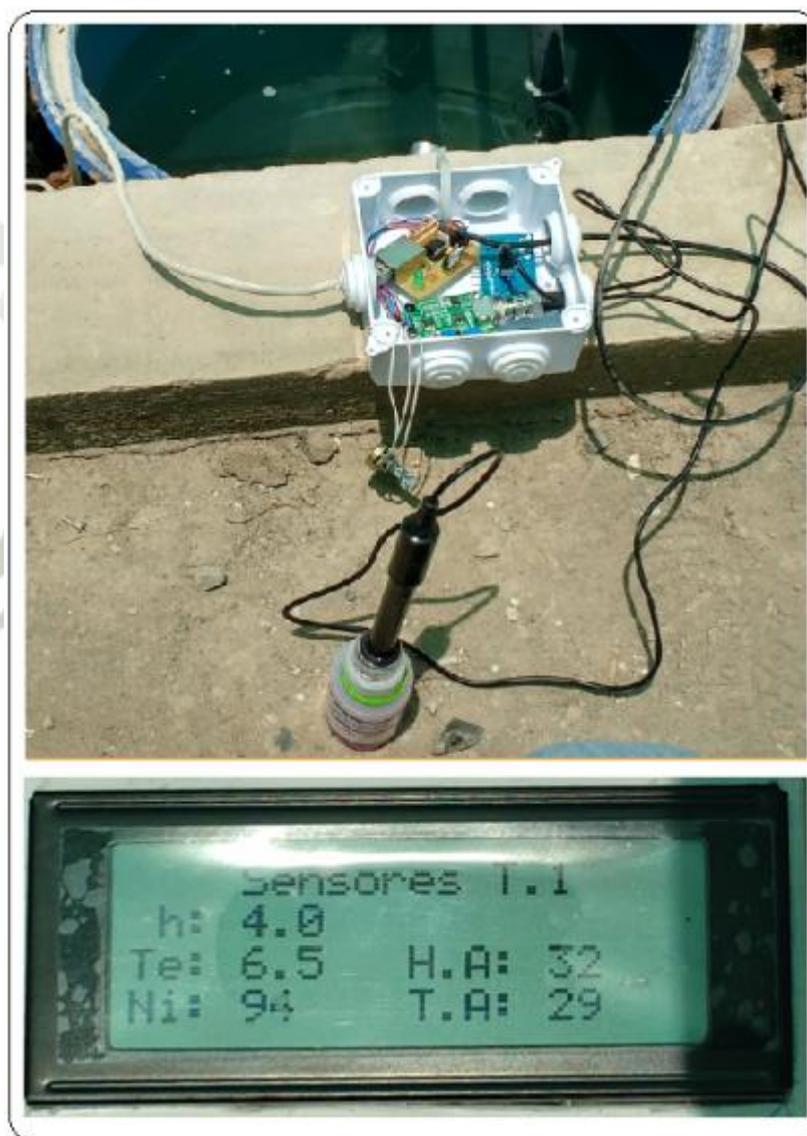


Figura 5.7. Medición de alerta para un para un PH de 4 en la central de monitoreo
Fuente: (Elaboración propia)

En la figura 5.8 en ella se aprecia el diseño de un circuito protegido en una caja de pase hermética para los dos sensores indicadores de humedad y temperatura de ambiente del sistema de hidropónico, ubicada en la parte central del área de cultivo a una altura de 2

metros. La implementación del sistema de medición de humedad y la temperatura de ambiente está ubicada a 40 metros aproximadamente de la placa principal del sistema cuyo medio de comunicación es el cable UTP categoría 6 puesto que la comunicación es serial, el cable UTP está protegido por tubería PVC pesado para evitar deterioro y este expuesto a la intemperie. Todos estos componentes del sistema van acoplados para tal fin.



Figura 5.8. Implementación del sistema de medición de la humedad y temperatura de ambiente
Fuente: (Elaboración propia)

En el caso de registrar valores fuera del rango de la tabla 4.4 para los valores de humedad y temperatura de ambiente, el sistema enviara un mensaje de texto SMS de alerta al celular de un usuario (equipo terminal) y un indicador de alerta a la central de monitoreo que se mostrara en el LCD y también por un indicador LED, dependiendo de la programación establecida con los rangos mínimos y máximos mostrados en el capítulo anterior.

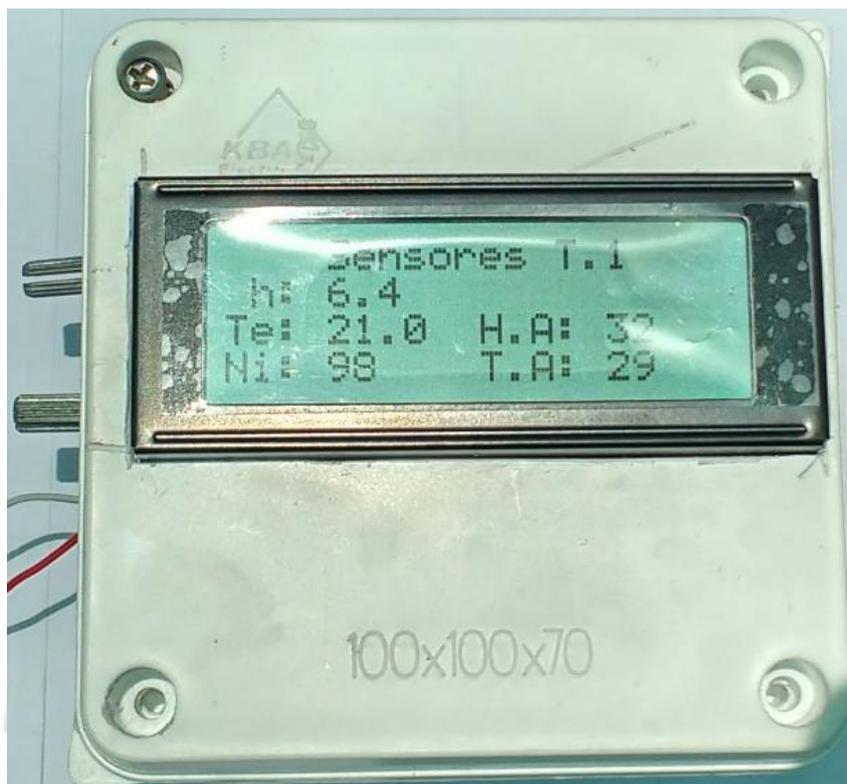


Figura 5.9. Medida del PH, temperatura del agua, humedad y temperatura de ambiente para valores normales mostrados en el centro de control
Fuente: (Elaboración propia)

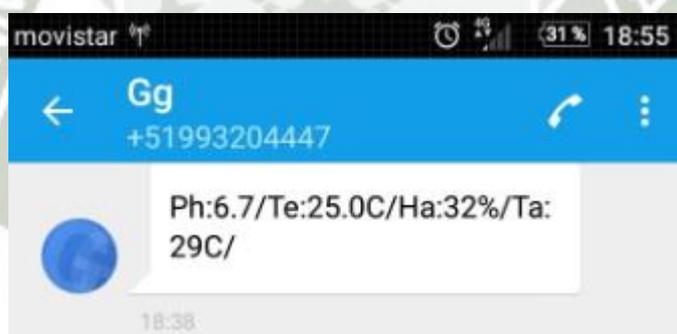


Figura 5.10. Valores de consulta realizada para los datos censados en el equipo terminal.
Fuente: (Elaboración propia)

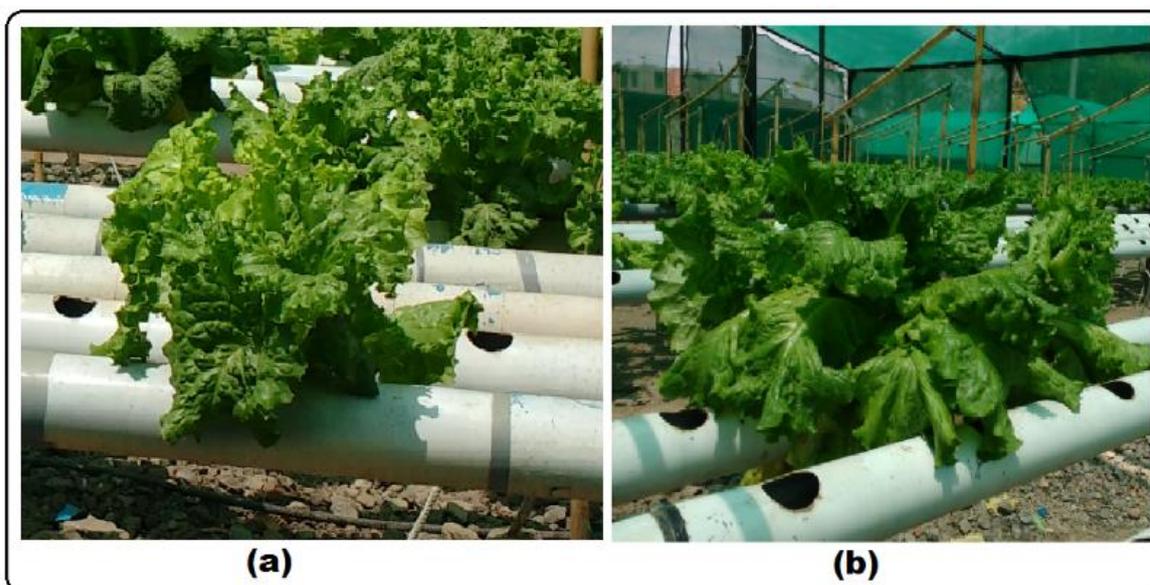


Figura 5.11. Comparación de la cosecha de la lechuga antes y después de implementar el sistema de comunicación celular GSM. (a) Cosecha antes de la implementación celular. (b) Cosecha después de la implementación celular.

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 5.1. *Tabla de producción antes de la implementación celular GSM*

MES	INGRESOS S/	EGRESOS				Ingreso Bruto S/
		Personal S/	Luz S/	Agua S/	Materiales S/	
Abril	1300	300	80	55	200	665
Mayo	1350	300	76	60	20	894
Junio	1400	300	78	52	20	950
Julio	1250	300	76	54	20	800
Agosto	1350	300	81	58	200	711

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 5.2. *Tabla de producción después de la implementación celular GSM*

MES	INGRESOS S/	EGRESOS				Ingreso Bruto S/
		Personal S/	Luz S/	Agua S/	Materiales S/	
Septiembre	1500	300	90	57	20	1033
Octubre	1570	300	85	62	20	1103
Noviembre	1600	300	92	51	20	1137
Diciembre	1550	300	89	56	200	905

Fuente: (Elaboración propia)

Nota. Para la elaboración de las tablas se observa un aumento en los ingresos debido a que al estar controlando las variables influyentes en la producción de las lechugas hidropónicas, con la implementación del sistema se reestablece rápidamente dichas variables, lo que no

genera un estrés en el crecimiento de las lechugas y crecen con toda normalidad, dando como resultado lechugas más grandes las cuales ocupan y tiene un peso apropiado para la venta, lo cual antes de la implementación al sufrir el estrés producto de bajo control de las variables influyentes en su crecimiento, al momento de la cosecha no logran el peso ideal por lo que debían ser agrupadas para lograr el peso ideal y por consiguiente la venta.



CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

- Se logró el sistema de comunicación celular usando la red GSM para enviar los datos censados de los indicadores de temperatura impermeable, PH, humedad y temperatura de ambiente a través de un dispositivo móvil, mediante de servicios de mensajes cortos (SMS).
- Se creó un centro de supervisión para el monitoreo de los parámetros censados utilizando un módulo inalámbrico y posteriormente serán mostrados en el LCD ubicado a 300 metros aproximadamente de la placa principal del proyecto en tiempo real, un sistema redundante.
- Se seleccionó los protocolos de comunicación que permitan un canal bidireccional de información de los diferentes dispositivos.
- Se logró integrar diferentes dispositivos electrónicos compatibles que permitan mayor información acerca del estado de un cultivo de lechugas por hidroponía.
- De las pruebas de medición, se desprende que dado que el sistema de telemetría opera las 24 horas en forma continua, los datos enviados a la Central de Monitoreo remoto vía inalámbrica y al equipo terminal por medio de mensajes de texto SMS y no sean afectados por precipitaciones climáticas suscitados en algunos meses críticos del año
- De los resultados obtenidos con el prototipo de sistema de alerta contra el estrés al cultivo por hidroponía y en evitar pérdida total del cultivo, esto generaría grandes pérdidas económicas a la empresa FAGSOL S.A.C.
- El sistema de comunicación celular está diseñado de manera automatizada con capacidad de enviar los datos en tiempo real acerca de las variaciones de niveles de temperatura, PH, humedad hacia los usuarios remotos (Equipo terminal) organizados sin importar la hora.
- El consumo de energía des sistema de comunicación celular es baja ya que se usa fuentes de alimentación de 12 VDC a 2 A, de las cuales se usa reguladores de voltaje a 5 VDC para energizar a los sensores, módulos, LCD y demás dispositivos.
- El costo de la implementación es muy económico y al alcance de las empresas emprendedoras que quieran automatizar su sistema de cultivo. La viabilidad

económica de este sistema de comunicación celular ayudará reducir los costos en caso de ocurrir el desastre.

- Para el sistema construido se utilizó tecnología GSM, ya que el uso de redes celulares abarcan una gran área geográfica de cobertura, dando la posibilidad de realizar sesiones de monitoreo sin importar la distancia, sino únicamente la unidad remota como la unidad móvil se encuentren en lugares que dispongan de señal celular GSM.
- Se logró establecer una metodología de diseño y construcción de un sistema de telemetría usando microcontroladores y tecnología mediante la red de GSM.
- Se necesitó realizar un interfaz de comunicación entre diferentes sistemas de control para lograr la adecuada comunicación.
- El servicio de mensajería corta es un sistema muy utilizado actualmente en este tipo de aplicaciones. Se constituye en una solución de bajo costo, mediante el cual se puede obtener información de forma permanente de diferentes lugares orientada al monitoreo de variables.
- El plan de mensajes mensual (mensajes ilimitados) contratado a la operadora celular es suficiente para el envío periódico de la información hacia el centro de recolección de datos.
- Se tuvo en cuenta las recomendaciones del fabricante al momento de montaje de los equipos como el cuidado respecto a la electrostática, aislamiento y calibración. Para la programación de la etapa principal y la central de monitoreo se utilizó el software MPLAB. Para la programación del diseño de adquisición de la señal de temperatura impermeable y PH se utilizó el software C compiler.
- Las comparaciones desde el punto de vista de capacidad y respuesta favorecen ampliamente a la red de GPRS frente a la Mensajería de Texto típica de todo sistema básico de GSM, pero la elección por éste último se definió por el punto de vista económico, ya que el sistema no envía información de forma constante y además que los niveles censados no varían significativamente cada pequeño intervalo de tiempo, razón por la cual los costos iniciales y los costos de operación se mantienen constantes y a una tarifa fija por cada mensaje de texto. No obstante, el sistema realizado tiene la capacidad tecnológica si en caso requiera de poder migrar a la red de GPRS, puesto que el módulo de SIM900 posee también integración a la red de GPRS.

- Para garantizar la robustez, confiabilidad y duración del producto se utilizó la norma IPC (Association Connecting Electronics Industries) que es una herramienta guía de las mejores prácticas de diseño, fabricación, ensamble, inspección de circuitos impresos o PBC (Printed Circuit Board), cables, conectores, insumos de soldadura, pruebas y mucho elementos más.
- Hubo dificultades cuando el sistema está en modo consulta ya que no envía mensajes de texto a algunas operadoras distintas.

RECOMENDACIONES:

- Para el correcto funcionamiento del sistema en el momento requerido, se recomienda tener activo un paquete de mensajes de texto ilimitado, mismo que ofertan las operadoras de telefonía móvil del país; ya que el agotamiento de los mensajes de texto provocaría errores en la recepción o envío de datos.
- Es importante que se incentive el desarrollo de proyectos similares en nuestro medio, aprovechando las tecnologías, usando los módulos de comunicación celular SIM900 y módulos inalámbricos ya que son factibles de obtener en el mercado local a bajo costo y con buenas bondades técnicas que no tiene nada que envidiar a dispositivos caros.
- Se debe considerar la correcta instalación del módulo inalámbrico con un aislamiento especial, ya que son propensos a la electrostática.
- La instalación del módulo GSM debe ser instalado en lugar adecuado para poder retirar la tarjeta SIM, ya sea por problemas técnicos, cambio de número telefónico o cambio de operador de servicio celular como también vencimiento del contrato.
- Hay que tomar en cuenta la disponibilidad y fecha de vencimiento del contrato de servicio de la tarjeta SIM, ya que las empresas dan un tiempo para poder pagar el servicio o de lo contrario lo anularan.
- Para la alimentación del sistema, se instaló desde el medidor de luz, la cual no será desactivada por error, con las cuchillas del tablero de control principal de la vivienda.

BIBLIOGRAFIA

- Agusti Comes, R., Bernardo Alvarez, F., Casadevall Palacio, F., Ferrus Ferre, R., Perez Romero, J., & Sallent Roig, O. (2010). LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles. *Funfacion Vodafone España*.
- Alvarez, N. (2012). *Mediciones de Temperatura, Termocuplas*.
- Araya, M. (2015). *Sensores de temperatura*. Obtenido de Blogspot: <http://snsosresdetemperatura.blogspot.pe/>
- Arduino. (2015). *Aprendiendo arduino*. Obtenido de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/comunicacion-inalambrica/>
- Baeza, A. (2015). *Sensores y biosensores electroquimicos*.
- Banggood. (2017). *Banggood*. Obtenido de Geekcreit® HC-12 433 SI4463 Módulo de serie inalámbrico Control remoto 1000M Con Antena: <https://www.banggood.com/es/HC-12-433-SI4463-Wireless-Serial-Module-Remote-1000M-With-Antenna-p-973522.html>
- Bausa Araganes, J., Garcia Gomez, C., Zaragoza Zaragoza, B., Gil Martinez, A., Moreno Campos, D., & Galiana Llinares, A. (2015). *Sensores de temperatura*.
- Bedoya Giraldo, Y., Salazar Giraldo, C. F., & Muñoz Lozano, J. F. (2013). *Implementacion, control y monitoreo de un sistema de seguridad vehicular por redes GSM/GPRS*.
- Beltrano, J., & Gimenez, D. O. (s.f.). *Cultivo en hidroponia*.
- Carrasco, P. D., & Izquierdo, P. D. (1996). *La empresa hidroponica de mediana escala: La tecnica de la solucion nutritiva recirculante (NFT)*.
- carrod. (2017). *DS18B20 Sensor de Temperatura a Prueba de Agua*. Obtenido de carrod electronica: <https://www.carrod.mx/products/sensor-de-temperatura-ds18b20>
- Chacon Becerra, J., & Tigse Lara, A. (2017). *Automatizacion de los procesos de un huerto hidroponico para el control de variables, utilizando sistemas basados en microcontroladores*.
- Chafla Ruiz, J. E., & Monta Guatapi, D. J. (2016). *Diseño e implementacion de un modulo electronico para la automatizacion de un invernadero comunitario de produccion de hortalizas y legumbres*. Quito: Universidad politecnica salesiana sede quito.
- Ciganda, M. (2004). *Electrodos para medir pH*. Uruguay.
- Contaval. (28 de Enero de 2016). *¿Conoces los sensores de temperatura?* Obtenido de Contaval: <http://www.contaval.es/sensores-temperatura-caracteristicas/>

- Cornejo Ortega, A. D., & Tintin Suquilanda, J. L. (2010). *Diseño, construcción e implementación de un sistema de telemetría utilizando tecnología GSM, para el monitoreo de los parámetros de temperatura, presión de aceite y velocidad de giro de motor u velocidad de desplazamiento de un vehículo chevrolet OPTRA 2008*. Cuenca-Ecuador.
- Del Valle Diaz, A. (2001). *Diseño, integración y optimización de estaciones base de segunda generación*.
- Diaz, A. D. (2013). *Diseño, Integración y Optimización de estaciones base de segunda generación. Ingeniería de Telecomunicación*.
- ebay. (2017). *Ebay compras*. Obtenido de 433 Mhz hc-12 si4463 Wireless Puerto serial modulo 1000m sustituir bluetooth top: https://www.ebay.com/itm/433Mhz-HC-12-SI4463-Wireless-Serial-Port-Module-1000m-Replace-Bluetooth-TOP/401051275954?_trksid=p2047675.c100005.m1851&_trkparms=aid%3D222007%26algo%3DSIC.MBE%26ao%3D2%26asc%3D40130%26meid%3D54b77552c90447839fa46899c9d8481f%26pid
- electronicastore.com. (2017). *Electronica Store - Todo para tus proyectos de electronica*. Obtenido de <https://electronicastore.net/tienda/>
- Electronicastore.net. (2017). *Electronicastore.net Todo para tus proyectos de electronica*. Obtenido de <https://electronicastore.net/producto/sensor-de-temperatura-ds18b20-a-prueba-de-agua/>
- Elrincondesalas. (2015). *MULTIPLEXOR Y DE MULTIPLEXOR*. Obtenido de Elrincondesalas: <https://elrincondesalas.wordpress.com/2015/07/28/multiplexor-y-de-multiplexor/>
- Estrada Jimenez, J. C., & Reinoso Chisaguano, D. J. (2009). *Diseño e implementación de un prototipo de monitoreo remoto de contaminación ambiental utilizando tecnologías GSM*. Quito.
- Etools. (2014). *Como funciona el regulador de voltaje 7805*. Obtenido de Etools: <http://www.electrontools.com/Home/WP/2016/03/09/regulador-de-voltaje-7805/>
- France24. (Octubre de 2017). *Redes inalámbricas*. Obtenido de <http://es.ccm.net/contents/818-redes-inalambricas>
- Garcia Pastor, F., & Cidras Pidre, J. (2017). *Comunicación: Red de catedras telenonia en España*.
- Godinez Tello, R. J. (2011). *Diseño e implementación de un sistema de alerta temprana ante desborde de ríos utilizando la red GSM*.

- IDElectronica. (2017). *IDElectronica*. Obtenido de Sensor de temperatura y humedad AM2302/DHT22:
<http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/sensores/sensor-de-temperatura-y-humedad-am2302-dht22-dht-22-dht22-detail>
- Iraceberu Gonzalez, J., & Goicoechea Fernandez, J. (2014). *Desarrollo e implementacion de una red inalambrica de sensores de temperatura y humedad*. Pamplona.
- La Rosa, D., & Vargas Trujillo, M. (2013). *Laboratorio de quimica*. Obtenido de Laboratorio de quimica: <http://laboratorio-quimico.blogspot.pe/2013/10/medidor-de-ph.html>
- Lara, E. (13 de Octubre de 2015). *Hetpro*. Obtenido de SIM900 GSM GPRS Shield con Arduino UNO: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/sim900-gsm-shieldarduino/>
- Lara, E. (2015). *SIM900 GSM GPRS Shield con arduino UNO*.
- Llamas, L. (29 de Marzo de 2016). *Ingenieria, informatica y diseño*. Obtenido de MEDIR TEMPERATURA Y HUMEDAD CON ARDUINO Y SENSOR DHT11-DHT22:
<https://www.luisllamas.es/arduino-dht11-dht22/>
- Llamas, L. (2017). *Ingenieria, informatica y diseño*. Obtenido de MEDIR TEMPERATURA Y HUMEDAD CON ARDUINO Y SENSOR DHT11-DHT22:
<https://www.luisllamas.es/arduino-dht11-dht22/>
- Maloney, T. J. (1997). *Electronica industrial moderna*.
- Martinez, E. (2001). *La evolucion de la telefonía móvil*.
- medidordepH.com. (2017). *medidordepH.com*. Obtenido de Funcionamiento, cuidado y calibrado del medidor de pH: <https://medidordeph.com/funcionamiento-cuidado-calibrado-medidor-de-ph>
- Meruane, C., & Garreaud, R. (2015). Determinacion de la Humedad en la Atmosfera.
- MicrochipTechnology. (2015). *PIC16F87X Data Sheet 28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers*.
- Miro Vicente, A., & Suañe Tarruella, J. (2010). *Diseño y desarrollo de un equipo de caracterización de IDFET para la medida de analitos iónicos*. Bellaterra.
- Monroy Garcia, O., Rolon Quintero, D., & Sepulveda Mora, S. (2017). *Sistema inalambrico modular de bajo costo para supervisar variables ambientales en invernaderos: un respaldo al agricultor de pequeña escala*.
- MTC. (2012). *Topes a la asignacion del espectro radioelectrico para prestar servicios publicos móviles*.

- Navarro Perez, A. A., Padilla Bejarano , J. B., & Prias Barragan, J. J. (2013). *Construccion de un sistema de instrumentacion para la medicion de la temperatura, pH y oxigeno disuelto presentes en la piscicultura bajo condiciones de estanque artificial*. Pereira-Colombia: Universidad tecnologia de Pereira.
- OCUM. (2013). *tecnicas potenciometricas*. Universidad de Murcia.
- Oreggioni, J. (2006). *Metodos de medida del pH para estudios invasivos prolongados: ISFET y fibra optica*. Uruguay: Universidad de la republica oriental del uruguay.
- OSAKA, U. (1998). *Curso de horticultura protegida*.
- Peña, M. (2007). *Temperatura*.
- Rduinostar. (2015). *Rduinostar - Comunidad arduino en español*. Obtenido de <http://rduinostar.com/documentacion/datasheets/dht22-caracteristicas-am2302/>
- Rojas, A. A. (2008). *Sensores utilizados en la automatizacion industrial*.
- Stallings, W. (2012). *Comunicaciones y redes de computadoras*. 7ma edicion.
- TBEM. (2017). *Oscilador de Cristal 4MHZ*. Obtenido de Tesla bem: <http://teslabem.com/oscilador-de-cristal-4mhz.html>
- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de comunicaciones electronicas*.
- Valera Sanchez, F. J. (2013). *OFDMA y SC-FDMA en la interfaz radio de LTE*.
- Vega Valdivia, V., & Gordillo Lopez, P. (2015). *Metodos de acceso multiple: TDMA, FDMA, CDMA Y OFDM*. Guayaquil.
- Velez Arango, K. (5 de septiembre de 2012). *Redes inalambricas tipo y caracteristicas*. Obtenido de <http://redesinalambricas28.blogspot.pe/>
- Vistronica. (2017). *Vistronica - tienda virtual electronica*. Obtenido de <https://www.vistronica.com/sensores/temperatura/sensor-de-temperatura-a-prueba-de-agua-ds18b20-detail.html>
- Volkheimer, W., Scafati, L., & Melendi, D. (2003). *Enciclopedia del ambiente*.
- webnode. (19 de Julio de 2012). *74HC4051; 74HCT4051 8-channel analog multiplexer/demultiplexer*. Obtenido de webnode: <http://files.microjpm.webnode.com/200000562-cc0d4cd048/74HC4051%20Datasheet.pdf>
- Wevar, J. A. (2005). *Analisis y estudio de redes GPRS*.

ANEXOS

ANEXO 1: SIM900 GSM/GPRS MODULE



The SIM900 is a complete Quad-band GSM/GPRS solution in a SMT module which can be embedded in the customer applications.

Featuring an industry-standard interface, the SIM900 delivers GSM/GPRS 850/900/1800/1900MHz performance for voice, SMS, Data, and Fax in a small form factor and with low power consumption. With a tiny configuration of 24mm x 24mm x 3 mm, SIM900 can fit almost all the space requirements in your M2M application, especially for slim and compact demand of design.

- SIM900 is designed with a very powerful single-chip processor integrating AMR926EJ-S core.
- Quad - band GSM/GPRS module with a size of 24mmx24mmx3mm.
- SMT type suit for customer application.
- An embedded Powerful TCP/IP protocol stack.
- Based upon mature and field-proven platform, backed up by our support service, from definition to design and production.

SIM900

The GSM/GPRS Module for M2M applications

General features

- Quad-Band 850/ 900/ 1800/ 1900 MHz
- GPRS multi-slot class 10/8
- GPRS mobile station class B
- Compliant to GSM phase 2/2+
 - Class 4 (2 W @850/ 900 MHz)
 - Class 1 (1 W @ 1800/1900MHz)
- Dimensions: 24* 24 * 3 mm
- Weight: 3.4g
- Control via AT commands (GSM 07.07 ,07.05 and SIMCOM enhanced AT Commands)
- SIM application toolkit
- Supply voltage range 3.4 ... 4.5 V
- Low power consumption
- Operation temperature: -30 °C to +80 °C

Specifications for fax

- Group 3, class 1

- Hands-free operation (Echo suppression)
- AMR Half Rate(HR) Full Rate(FR)

Interfaces

- Interface to external SIM 3V/ 1.8V
- analog audio interface
- RTC backup
- SPI interface
- Serial interface
- Antenna pad
- I2C
- GPIO
- PWM
- ADC

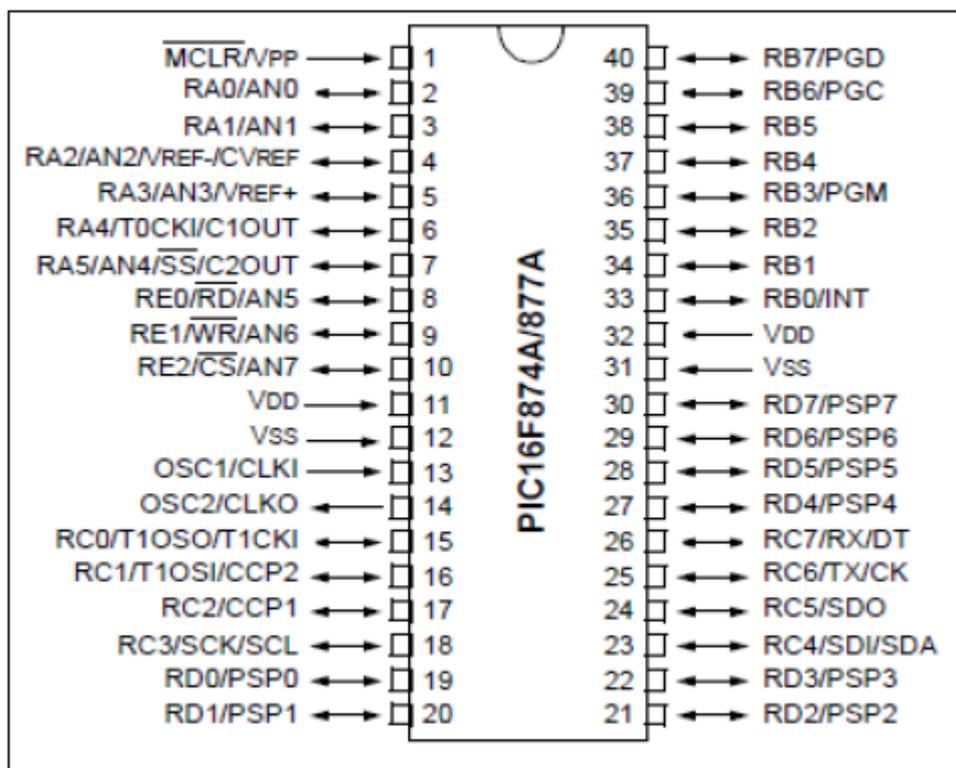
Compatibility

- AT cellular command interface

Approvals (in planning)



ANEXO 2: DESCRIPCIÓN DE PINES DEL MICROCONTROLADOR 16F877A



NOMBRE	PIN	DESCIPCIÓN
OSC1/CLKIN	13	Pin E, Entrada del oscilador de cristal / entrada de señal de reloj externa
OSC2/CLKOUT	14	Pin S, Salida del oscilador de cristal
MCLR/Vpp/THV	1	Entrada del Master Clear (Reset) o entrada de voltaje de programación o modo de control high voltaje test
RA0/AN0	2	Pin Bidireccional E/S 1digital, entrada analógica 0
RA1/AN1	3	Pin E/S digital, entrada analógica 1
RA2/AN2/Vref-	4	Pin E/S digital, entrada analógica 2 o referencia negativa de voltaje
RA3/AN3/Vref+	5	Pin E/S digital, entrada analógica 3 o referencia positiva de voltaje
RA4/T0CKI	6	Pin E/S digital, entrada de reloj el timer 0

RA5/SS/AN4	7	Pin E/S digital, entrada analógica 4 o el esclavo seleccionado por el puerto serial síncrono.
RB0/INT	33	Pin E/S digital, Interrupción externa
RB1	34	Pin E/S digital
RB2	35	Pin E/S digital
RB3/PGM	36	Pin E/S digital, Entrada de programación de bajo voltaje ICSP
RB4	37	Pin E/S digital
RB5	38	Pin E/S digital
RB6/PGC	39	Pin E/S digital, Reloj de programación serial ICSP
RB7/PGD	40	Pin E/S digital, Dato de programación serial ICSP
RC0/T10S0/T1C KIN	15	Pin E/S digital, Salida del oscilador timer1, Entrada de reloj del timer1
RC1/T10S1/T1CC P2	16	Pin E/S digital, Entrada del oscilador timer1, Salida PWN 2, Captura 2 entrada, Comparador 2 salida
RC2/CCP1	17	Pin E/S digital, Captura 1 entrada, comparador 1 salida, PWN 1 salida
RC3/SCK/SCL	18	Pin E/S digital, Entrada o salida serial de reloj síncrono para modo SPI, Entrada o salida serial de reloj síncrono para modo SPI e I2C
RC4/SD1/SDA	23	Pin E/S digital, entrada de datos SPI, I2C I/O datos
RC5/SD0	24	Pin E/S digital, salida de datos SPI
RC6/Tx/CK	25	Pin E/S digital, Transmisor asíncrono USART, Reloj síncrono USART 1
RC7/RX/DT	26	Pin E/S digital, Receptor asíncrono USART, Datos USART síncronos

RD0/PSP0	19	Pin E/S digital, Dato de puerto paralelo esclavo 0
RD1/PSP1	20	Pin E/S digital, Dato de puerto paralelo esclavo 1
RD2/PSP2	21	Pin E/S digital, Dato de puerto paralelo esclavo 2
RD3/PSP3	22	Pin E/S digital, Dato de puerto paralelo esclavo 3
RD4/PSP4	27	Pin E/S digital, Dato de puerto paralelo esclavo 4
RD5/PSP5	28	Pin E/S digital, Dato de puerto paralelo esclavo 5
RD6/PSP6	29	Pin E/S digital, Dato de puerto paralelo esclavo 6
RD7/PSP7	30	Pin E/S digital, Dato de puerto paralelo esclavo 7
RE0/ $\overline{\text{RD}}$ /AN5	8	Pin E/S digital, Control de lectura para el puerto paralelo, entrada analógica 5
RE1/ $\overline{\text{WR}}$ /AN6	9	Pin E/S digital, Escritura de control para el puerto paralelo esclavo, entrada analógica 6
RE2/ $\overline{\text{CS}}$ /AN7	10	Pin E/S digital, Selector de control para el puerto paralelo esclavo, entrada analógica 7
Vss	12 31	Referencia de tierra para los pines lógicos y de E/S Alimentación
Vdd	11 32	Fuente positiva para los pines lógicos y de E/S Alimentación

DATASHEET 16F877A

PIC16F87XA

TABLE 14-2: CAPACITOR SELECTION FOR CRYSTAL OSCILLATOR

Osc Type	Crystal Freq.	Cap. Range C1	Cap. Range C2
LP	32 kHz	33 pF	33 pF
	200 kHz	15 pF	15 pF
XT	200 kHz	47-68 pF	47-68 pF
	1 MHz	15 pF	15 pF
	4 MHz	15 pF	15 pF
HS	4 MHz	15 pF	15 pF
	8 MHz	15-33 pF	15-33 pF
	20 MHz	15-33 pF	15-33 pF

These values are for design guidance only.
See notes following this table.

Crystals Used

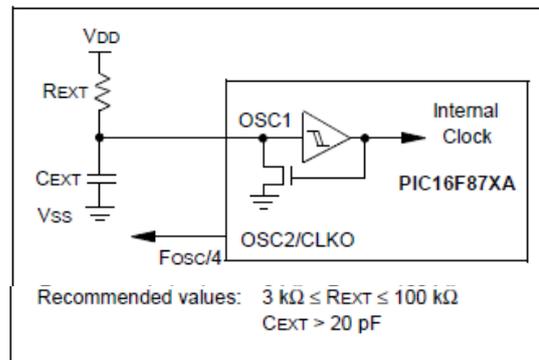
32 kHz	Epson C-001R32.768K-A	± 20 PPM
200 kHz	STD XTL 200.000KHz	± 20 PPM
1 MHz	ECS ECS-10-13-1	± 50 PPM
4 MHz	ECS ECS-40-20-1	± 50 PPM
8 MHz	EPSON CA-301 8.000M-C	± 30 PPM
20 MHz	EPSON CA-301 20.000M-C	± 30 PPM

- Note 1:** Higher capacitance increases the stability of oscillator but also increases the start-up time.
- 2:** Since each resonator/crystal has its own characteristics, the user should consult the resonator/crystal manufacturer for appropriate values of external components.
- 3:** R_s may be required in HS mode, as well as XT mode, to avoid overdriving crystals with low drive level specification.
- 4:** When migrating from other PICmicro® devices, oscillator performance should be verified.

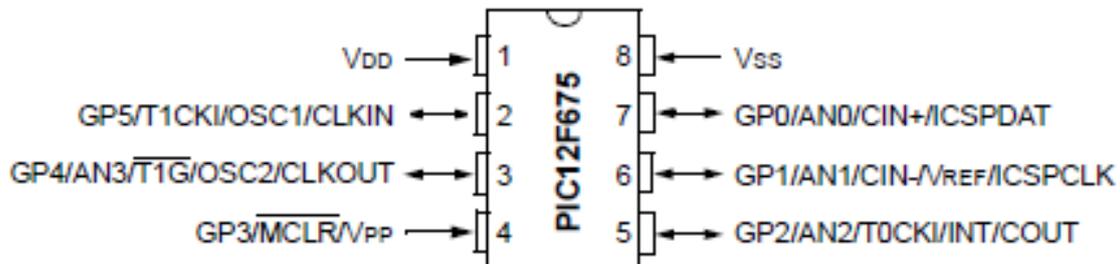
14.2.3 RC OSCILLATOR

For timing insensitive applications, the “RC” device option offers additional cost savings. The RC oscillator frequency is a function of the supply voltage, the resistor (R_{EXT}) and capacitor (C_{EXT}) values and the operating temperature. In addition to this, the oscillator frequency will vary from unit to unit due to normal process parameter variation. Furthermore, the difference in lead frame capacitance between package types will also affect the oscillation frequency, especially for low C_{EXT} values. The user also needs to take into account variation due to tolerance of external R and C components used. Figure 14-3 shows how the R/C combination is connected to the PIC16F87XA.

FIGURE 14-3: RC OSCILLATOR MODE



ANEXO 3: DESCRIPCIÓN DE PINES DEL MICROCONTROLADOR 12F675



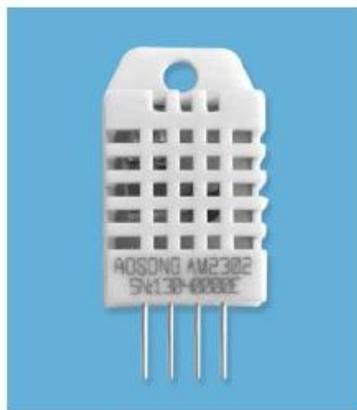
Name	Function	Input Type	Output Type	Description
GP0/AN0/CIN+/ICSPDAT	GP0	TTL	CMOS	Bidirectional I/O w/ programmable pull-up and interrupt-on-change
	AN0	AN		A/D Channel 0 input
	CIN+	AN		Comparator input
	ICSPDAT	TTL	CMOS	Serial programming I/O
GP1/AN1/CIN-/VREF/ICSPCLK	GP1	TTL	CMOS	Bidirectional I/O w/ programmable pull-up and interrupt-on-change
	AN1	AN		A/D Channel 1 input
	CIN-	AN		Comparator input
	VREF	AN		External voltage reference
	ICSPCLK	ST		Serial programming clock
GP2/AN2/T0CKI/INT/COUT	GP2	ST	CMOS	Bidirectional I/O w/ programmable pull-up and interrupt-on-change
	AN2	AN		A/D Channel 2 input
	T0CKI	ST		TMR0 clock input
	INT	ST		External interrupt
	COUT		CMOS	Comparator output
GP3/MCLR/VPP	GP3	TTL		Input port w/ interrupt-on-change
	MCLR	SJT		Master Clear
	VPP	HV		Programming voltage
GP4/AN3/T1G/OSC2/CLKOUT	GP4	TTL	CMOS	Bidirectional I/O w/ programmable pull-up and interrupt-on-change
	AN3	AN		A/D Channel 3 input
	T1G	ST		TMR1 gate
	OSC2		XTAL	Crystal/resonator
	CLKOUT		CMOS	Fosc/4 output
GP5/T1CKI/OSC1/CLKIN	GP5	TTL	CMOS	Bidirectional I/O w/ programmable pull-up and interrupt-on-change
	T1CKI	ST		TMR1 clock
	OSC1	XTAL		Crystal/resonator
	CLKIN	ST		External clock input/RC oscillator connection
VSS	VSS	Power		Ground reference
VDD	VDD	Power		Positive supply

DATASHEET 12F675

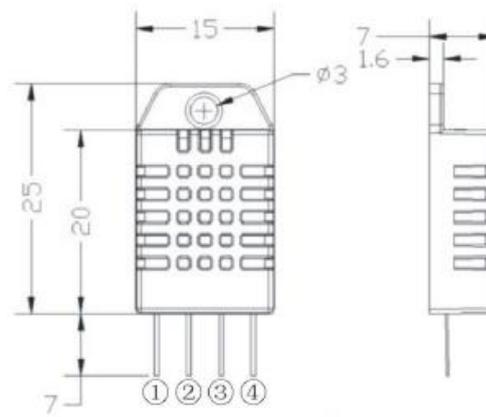
ANEXO 4: TEMPERATURE AND HUMIDITY MODULE AM2302-DHT22 DATASHEET

1、 Product Overview

AM2302 capacitive humidity sensing digital temperature and humidity module is one that contains the compound has been calibrated digital signal output of the temperature and humidity sensors. Application of a dedicated digital modules collection technology and the temperature and humidity sensing technology, to ensure that the product has high reliability and excellent long-term stability. The sensor includes a capacitive sensor wet components and a high-precision temperature measurement devices, and connected with a high-performance 8-bit microcontroller. The product has excellent quality, fast response, strong anti-jamming capability, and high cost. Each sensor is extremely accurate humidity calibration chamber calibration. The form of procedures, the calibration coefficients stored in the microcontroller, the sensor within the processing of the heartbeat to call these calibration coefficients. Standard single-bus interface, system integration quick and easy. Small size, low power consumption, signal transmission distance up to 20 meters, making it the best choice of all kinds of applications and even the most demanding applications. Products for the 3-lead (single-bus interface) connection convenience. Special packages according to user needs.



Physical map



Dimensions (unit: mm)

2、 Applications

HVAC, dehumidifier, testing and inspection equipment, consumer goods, automotive, automatic control, data loggers, home appliances, humidity regulator, medical, weather stations, and other humidity measurement and control and so on.

3、 Features

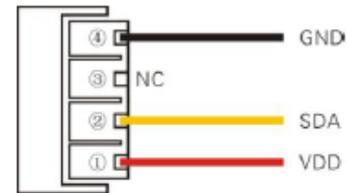
Ultra-low power, the transmission distance, fully automated calibration, the use of capacitive humidity sensor, completely interchangeable, standard digital single-bus output, excellent long-term stability, high accuracy temperature measurement devices.

4、 The definition of single-bus interface

4.1 AM2302 Pin assignments

Table 1: AM2302 Pin assignments

Pin	Name	Description
①	VDD	Power (3.3V–5.5V)
②	SDA	Serial data, bidirectional port
③	NC	Empty
④	GND	Ground



PIC1: AM2302 Pin Assignment

4.2 Power supply pins (VDD GND)

AM2302 supply voltage range 3.3V - 5.5V, recommended supply voltage is 5V.

4.3 Serial data (SDA)

SDA pin is tri structure for reading, writing sensor data. Specific communication timing, see the detailed description of the communication protocol.

5、 Sensor performance

5.1 Relative humidity

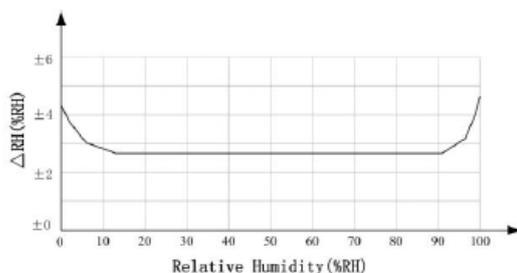
Table 2: AM2302 Relative humidity performance table

Parameter	Condition	min	typ	max	Unit
Resolution			0.1		%RH
Range		0		99.9	%RH
Accuracy ^[1]	25°C		± 2		%RH
Repeatability			± 0.3		%RH
Exchange		Completely interchangeable			
Response ^[2]	1/e(63%)		<5		S
Sluggish			<0.3		%RH
Drift ^[3]	Typical		<0.5		%RH/yr

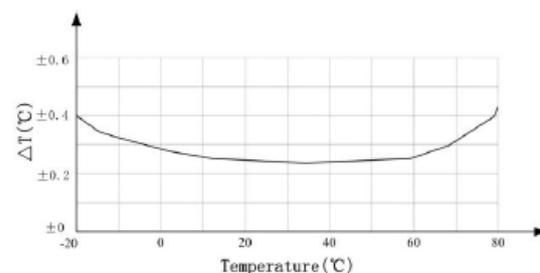
5.2 Temperature

Table 3: AM2302 Relative temperature performance

Parameter	Condition	min	typ	max	Unit
Resolution			0.1		°C
n			16		bit
Accuracy			± 0.5	± 1	°C
Range		-40		80	°C
Repeat			± 0.2		°C
Exchange		Completely interchangeable			
Response ^[2]	1/e(63%)		<10		S
Drift			± 0.3		°C/yr



Pic2: At25°C The error of relative humidity



Pic3: The maximum temperature error

6、Electrical Characteristics

Electrical characteristics, such as energy consumption, high, low, input, output voltage, depending on the power supply. Table 4 details the electrical characteristics of the AM2302, if not identified, said supply voltage of 5V. To get the best results with the sensor, please design strictly in accordance with the conditions of design in Table 4.

Table 4: AM2302 DC Characteristics

Parameter	Condition	min	typ	max	Unit
Voltage		3.3	5	5.5	V
Power consumption ^[6]	Dormancy	10	15		μA
	Measuring		500		μA
	Average		300		μA
Low level output voltage	I _{OL} ^[5]	0		300	mV
High output voltage	R _p <25 kΩ	90%		100%	VDD
Low input voltage	Decline	0		30%	VDD
Input High Voltage	Rise	70%		100%	VDD
R _{pu} ^[3]	VDD = 5V VIN = VSS	30	45	60	kΩ
Output current	turn on		8		mA
	turn off	10	20		μA
Sampling period		2			S

[1] the accuracy of the factory inspection, the sensor 25°C and 5V, the accuracy specification of test conditions, it does not include hysteresis and nonlinearity, and is only suitable for non-condensing environment.

[2] to achieve an order of 63% of the time required under the conditions of 25°C and 1m / s airflow.

[3] in the volatile organic compounds, the values may be higher. See the manual application to store information.

[4] this value at VDD = 5.0V when the temperature is 25°C, 2S / time, under the conditions of the average.

[5] low output current.

[6] that the pull-up resistor.

7、Single-bus communication (ONE-WIRE)

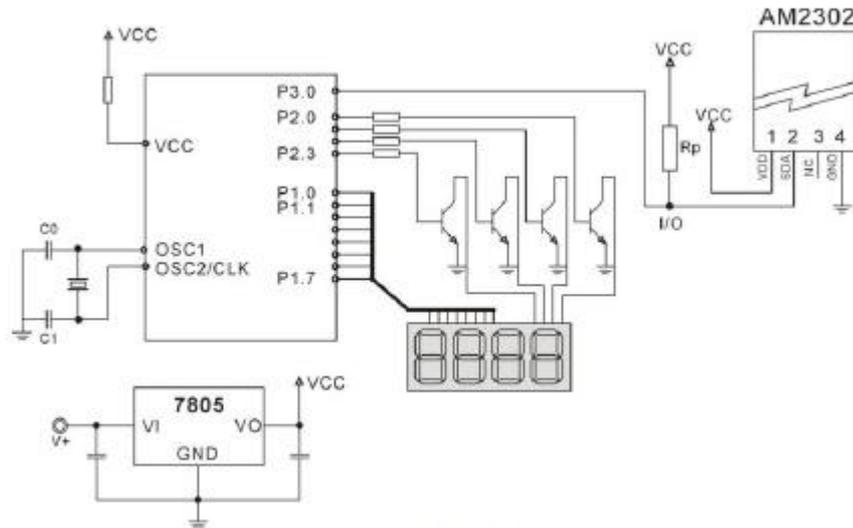
7.1 Typical circuits for single bus

Microprocessor and AM2302 connection typical application circuit is shown in Figure 4.

Single bus communication mode, pull the SDA microprocessor I / O port is connected.

Special instructions of the single-bus communication :

1. Typical application circuit recommended in the short cable length of 30 meters on the 5.1K pull-up resistor pullup resistor according to the actual situation of lower than 30 m.
 2. With 3.3V supply voltage, cable length shall not be greater than 100cm. Otherwise, the line voltage drop will lead to the sensor power supply, resulting in measurement error.
 3. Read the sensor minimum time interval for the 2S; read interval is less than 2S, may cause the temperature and humidity are not allowed or communication is unsuccessful, etc..
 4. Temperature and humidity values are each read out the results of the last measurement
- For real-time data that need continuous read twice, we recommend repeatedly to read sensors, and each read sensor interval is greater than 2 seconds to obtain accuratethe data.



Pic4: AM2302 Typical circuits for single bus



ANEXO 5: DS18B20 WATERPROOF TEMPERATURE SENSOR CABLE



Product Description

This Maxim-made item is a digital thermo probe or sensor that employs DALLAS DS18B20. Its unique 1-wire interface makes it easy to communicate with devices. It can convert temperature to a 12-bit digital word in 750ms (max). Besides, it can measure temperatures from -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ (-67°F to $+257^{\circ}\text{F}$). In addition, this thermo probe doesn't require any external power supply since it draws power from the data line. Last but not least, like other common thermo probes, its stainless steel probe head makes it suitable for any wet or harsh environment. (Dallas, 2015)

The datasheet of this DS18B20 Sensor can be found from:

Feature:

Power supply range:	3.0V to 5.5V
Operating temperature range:	-55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ (-67°F to $+257^{\circ}\text{F}$)
Storage temperature range:	-55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ (-67°F to $+257^{\circ}\text{F}$)
Accuracy over the range of -10°C to $+85^{\circ}\text{C}$:	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
3-pin 2510 Female Header Housing	

Application:

The DS18B20 Digital Temperature Probe provides 9 to 12 bit (configurable) temperature readings which indicate the temperature of the device. Information is sent to/from the DS18B20 over a 1-Wire interface, so that only one wire (and ground) needs to be connected from a central microprocessor to a DS18B20. Power for reading, writing, and performing

temperature conversions can be derived from the data line itself with no need for an external power source.

Because each DS18B20 contains a unique silicon serial number, multiple DS18B20s can exist on the same 1Wire bus. This allows for placing temperature sensors in many different places. Applications where this feature is useful include HVAC environmental controls, sensing temperatures inside buildings, equipment or machinery, and process monitoring and control.

Details:



Figure 1

Quick-teck Electronics Components datasheet

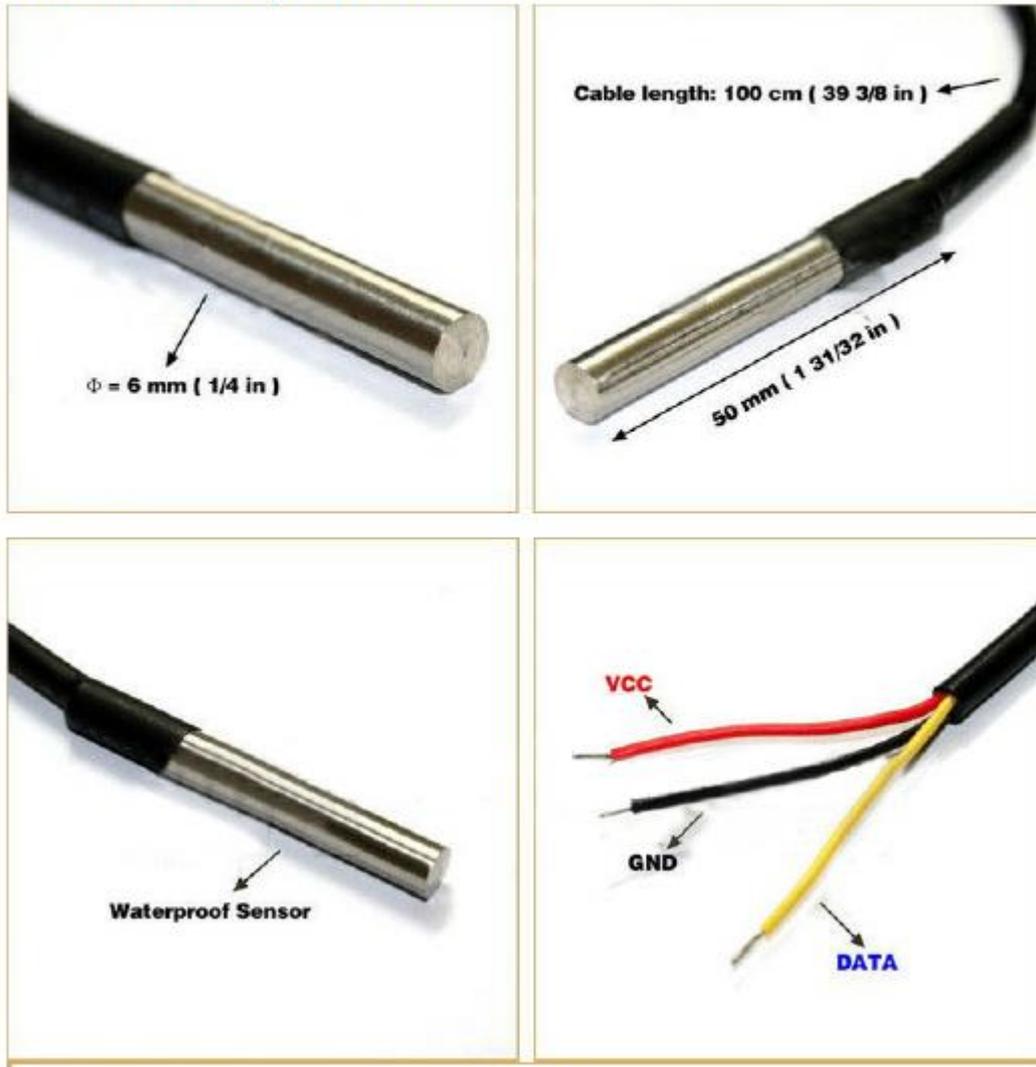


Figure 2



BC546, B BC547, A, B, C BC548, A, B, C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted) (Continued)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
ON CHARACTERISTICS					
DC Current Gain ($I_C = 10 \mu\text{A}$, $V_{CE} = 5.0 \text{ V}$)	BC547A/548A BC548B/547B/548B BC548C	h_{FE}	— 90 150 270	— — — —	—
($I_C = 2.0 \text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0 \text{ V}$)	BC546 BC547 BC548 BC547A/548A BC548B/547B/548B BC547C/BC548C		110 110 110 110 200 420	— — — 180 290 520	— 450 800 800 220 450 800
($I_C = 100 \text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0 \text{ V}$)	BC547A/548A BC548B/547B/548B BC548C		— — —	120 180 300	— — —
Collector–Emitter Saturation Voltage ($I_C = 10 \text{ mA}$, $I_B = 0.5 \text{ mA}$) ($I_C = 100 \text{ mA}$, $I_B = 5.0 \text{ mA}$) ($I_C = 10 \text{ mA}$, $I_B = \text{See Note 1}$)		$V_{CE(sat)}$	— — —	0.09 0.2 0.3	0.25 0.6 0.6
Base–Emitter Saturation Voltage ($I_C = 10 \text{ mA}$, $I_B = 0.5 \text{ mA}$)		$V_{BE(sat)}$	—	0.7	—
Base–Emitter On Voltage ($I_C = 2.0 \text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0 \text{ V}$) ($I_C = 10 \text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0 \text{ V}$)		$V_{BE(on)}$	0.55 —	— —	0.7 0.77

SMALL–SIGNAL CHARACTERISTICS

Current–Gain — Bandwidth Product ($I_C = 10 \text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0 \text{ V}$, $f = 100 \text{ MHz}$)	BC546 BC547 BC548	f_T	150 150 150	300 300 300	— — —	MHz
Output Capacitance ($V_{CB} = 10 \text{ V}$, $I_C = 0$, $f = 1.0 \text{ MHz}$)		C_{obo}	—	1.7	4.5	pF
Input Capacitance ($V_{EB} = 0.5 \text{ V}$, $I_C = 0$, $f = 1.0 \text{ MHz}$)		C_{ibo}	—	10	—	pF
Small–Signal Current Gain ($I_C = 2.0 \text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0 \text{ V}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$)	BC546 BC547/548 BC547A/548A BC548B/547B/548B BC547C/548C	h_{fe}	125 125 125 240 450	— — 220 330 600	500 900 280 500 900	—
Noise Figure ($I_C = 0.2 \text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0 \text{ V}$, $R_S = 2 \text{ k}\Omega$, $f = 1.0 \text{ kHz}$, $\Delta f = 200 \text{ Hz}$)	BC546 BC547 BC548	NF	— — —	2.0 2.0 2.0	10 10 10	dB

ANEXO 7: HOJA DE DATOS DEL REGULADOR DE VOLTAJE LM7805



www.fairchildsemi.com

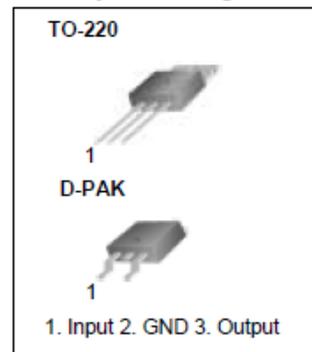
MC78XX/LM78XX/MC78XXA
3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

Features

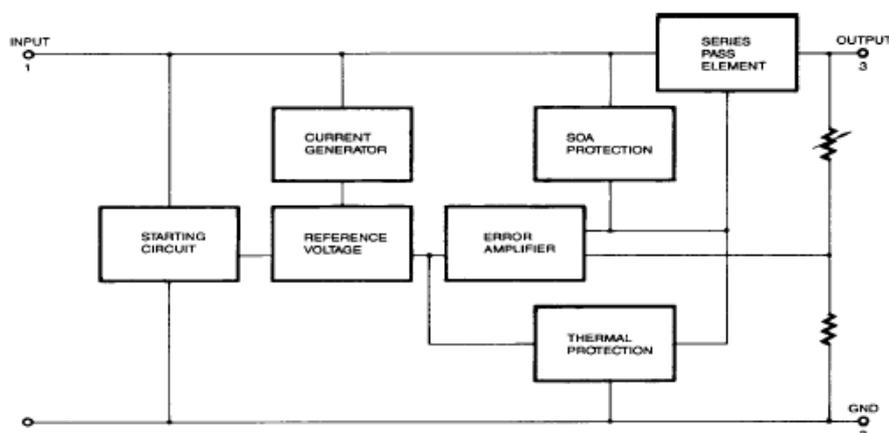
- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24V
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

Description

The MC78XX/LM78XX/MC78XXA series of three terminal positive regulators are available in the TO-220/D-PAK package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.



Internal Block Diagram



Rev. 1.0.1

©2001 Fairchild Semiconductor Corporation

MC78XX/LM78XX/MC78XXA

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (for $V_O = 5V$ to $18V$) (for $V_O = 24V$)	V_I	35	V
	V_I	40	V
Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)	$R_{\theta JC}$	5	$^{\circ}C/W$
Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)	$R_{\theta JA}$	65	$^{\circ}C/W$
Operating Temperature Range	T_{OPR}	0 ~ +125	$^{\circ}C$
Storage Temperature Range	T_{STG}	-65 ~ +150	$^{\circ}C$

Electrical Characteristics (MC7805/LM7805)

(Refer to test circuit, $0^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C$, $I_O = 500mA$, $V_I = 10V$, $C_I = 0.33\mu F$, $C_O = 0.1\mu F$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7805/LM7805			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}C$	4.8	5.0	5.2	V	
		$5.0mA \leq I_O \leq 1.0A$, $P_O \leq 15W$ $V_I = 7V$ to $20V$	4.75	5.0	5.25		
Line Regulation (Note1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}C$	$V_O = 7V$ to $25V$	-	4.0	100	mV
			$V_I = 8V$ to $12V$	-	1.6	50	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}C$	$I_O = 5.0mA$ to $1.5A$	-	9	100	mV
			$I_O = 250mA$ to $750mA$	-	4	50	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}C$	-	5.0	8.0	mA	
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5mA$ to $1.0A$	-	0.03	0.5	mA	
		$V_I = 7V$ to $25V$	-	0.3	1.3		
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5mA$	-	-0.8	-	mV/ $^{\circ}C$	
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10Hz$ to $100KHz$, $T_A = +25^{\circ}C$	-	42	-	$\mu V/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120Hz$ $V_O = 8V$ to $18V$	62	73	-	dB	
Dropout Voltage	V_{Drop}	$I_O = 1A$, $T_J = +25^{\circ}C$	-	2	-	V	
Output Resistance	r_O	$f = 1KHz$	-	15	-	m Ω	
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35V$, $T_A = +25^{\circ}C$	-	230	-	mA	
Peak Current	I_{PK}	$T_J = +25^{\circ}C$	-	2.2	-	A	

Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Typical Applications

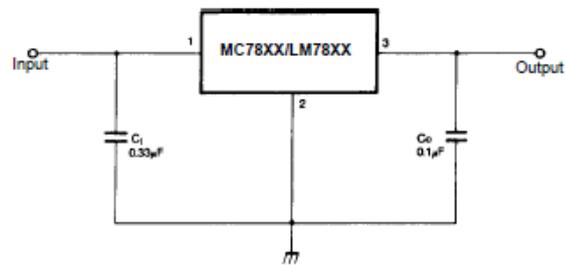


Figure 5. DC Parameters



ANEXO 8: HOJA DE DATOS DEL MODULO LCD ERM2004FS-2



Character Module Datasheet ERM2004-2 Series

4. ELECTRICAL SPEC

4.1 Pin Configuration

Pin No.	Pin Name	Descriptions
.1	.VSS	Ground
2	.VDD	Supply voltage for logic
3	.V0	Input voltage for LCD
4	RS	H : Data signal, L Instruction signal
5	R/W	H : Read mode, L : Write mode
6	E	Chip enable signal
.7	DB0	Data bit 0
.8	DB1	Data bit 1
.9	DB2	Data bit 2
.10	DB3	Data bit 3
.11	DB4	Data bit 4
.12	DB5	Data bit 5
.13	DB6	Data bit 6
.14	DB7	Data bit 7
.15	LED_A	Backlight Anode
.16	LED_K	Backlight Cathode

4.2 Absolute Maximum Ratings

.ITEM	SYMBOL	MIN.	.TYP.	MAX.	UNIT
Power Supply for Logic	.VDD-VSS	-0.3	-	+7.0	V
Power Supply for LCD	.VLCD	VDD-15	-	VDD+0.3	V
Input Voltage	.VIN	-0.3	-	VDD+0.3	V
Supply Current for Backlight	ILED	-	-	75	mA

4.3 Electrical Characteristics

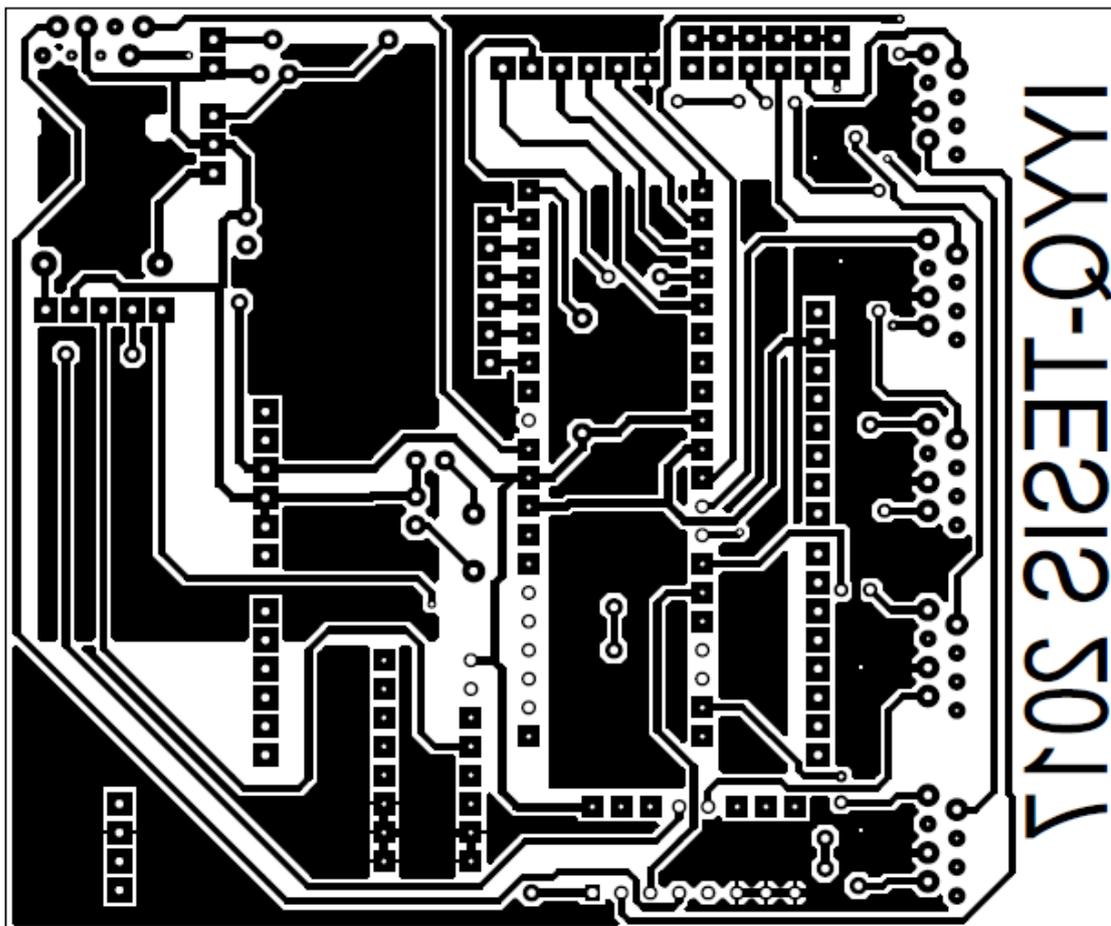
ITEM	SYMBOL	CONDITION	MIN.	.TYP.	MAX.	UNIT
Power Supply for LCM	.VDD-VSS	VDD=5V	4.8	5.0	5.2	V
		VDD=3.3V	3.0	3.3	3.6	V
Input Voltage	.VIL	L Level	-0.2	-	1	V
	.VIH	H Level	VDD-1.0	-	VDD	V
LCD Driving Voltage	VDD-V0	-	4.5	4.8	5.1	V
Supply Current for LCM	IDD	-	-	-	2000.0	uA
Supply Current for Backlight	ILED	-	-	45	-	mA



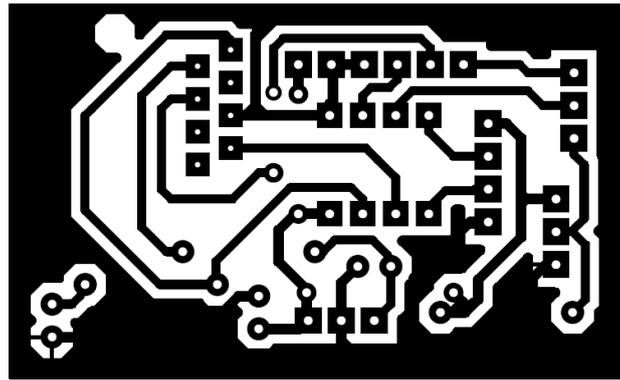
ANEXO 9: DISEÑO DE PISTAS Y PLACA

En el capítulo 4 se calcularon los consumos máximos de corriente los cuales no exceden a 1 amperio. Se aplicó el tamaño de las pistas para todas las placas de los circuitos del proyecto a 25T (635 μm) contra el tamaño de 8 T (210 μm) que es para el consumo de 1 amperio en el software Proteus, dando lugar a un margen de protección en las pistas según norma IPC-2221A (Association Connecting Electronics Industries) para el diseño de las tarjetas PCB (Printed Circuit Board).

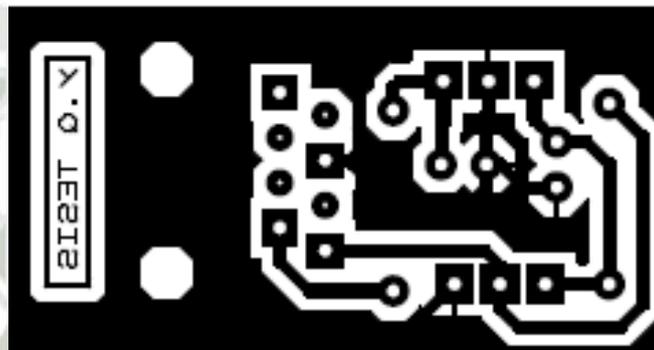
Pistas del Sistema de medición, procesamiento y comunicación de datos-Placa Principal



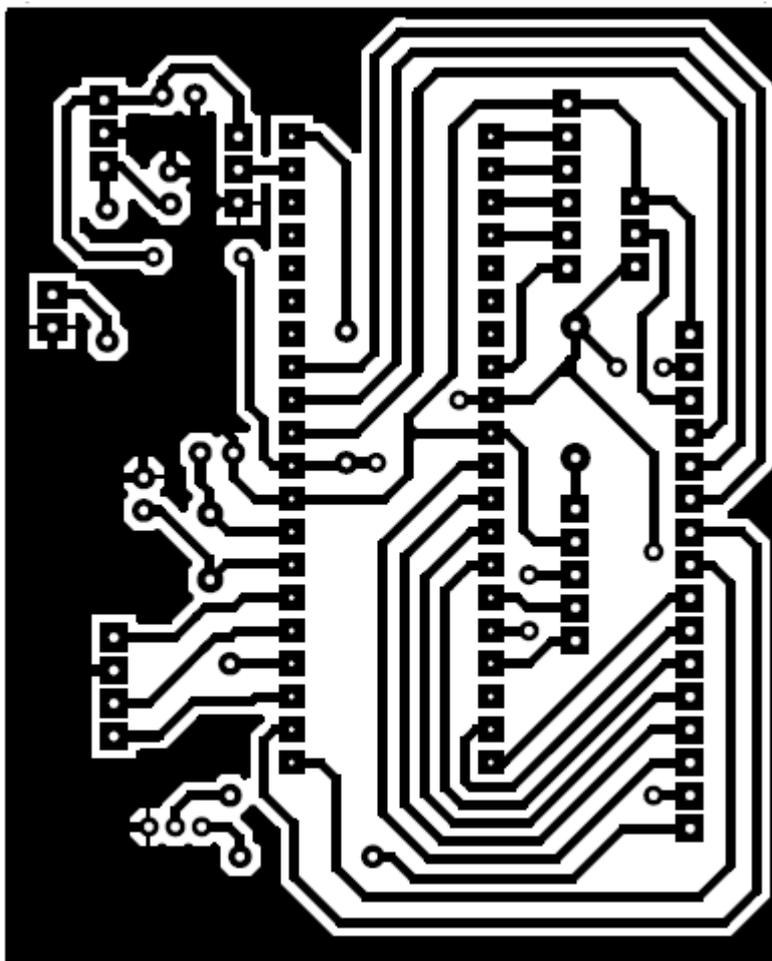
Pistas del diseño de adquisición de la señal de temperatura impermeable y PH



Pistas del diseño de adquisición de la señal de humedad y temperatura de ambiente



Pistas de la central de monitoreo



ANEXO 10: PROGRAMACIÓN DEL PROCESO

Programación del sistema de medición, procesamiento y comunicación de datos en

Assembler -placa principal:

```

LIST P=16F877
    INCLUDE "P16F877.INC"
    __config 3F31h
;
;
;
wtemp      equ 0x20 ;registro de trabajo temporal
statemp     equ 0x21 ;registro de estado temporal
ntecla      equ 0x22 ;guarda el numero de la tecla pulsada
d1          equ 0x23 ;variables utilizadas en los retardos
d2          equ 0x24
;
;
var         equ    0x25
cnt0        equ 0x26
flag01      equ    0x27
dato_r      equ    0x28
cont_oD     equ    0x29
filaa       equ    0x2A
cnt_err     equ    0x2B
Ackk        equ 0x2C
;
;
;del 0x50-0x54 para Dis ; del 0x55-0x57 para ph ; del 0x58-5D para tmp
;
org 0x00
goto inicio
;
;interrupcion;
org 0x04
movwf      wtemp          ;guarda el registro W y el de estado
swapf     STATUS,0
movwf     statemp
btfsc     PIR1,RCIF      ;verifica interrup de rx
goto      isr_recb
btfss     INTCON,2       ;verifica el tipo de interrupcion
goto      finisr        ;interrupcion del teclado
isrtmp0
    bcf     INTCON,2
    incf   cnt0,1
    movlw  0x04          ;base 65 ms
    xorwf  cnt0,0
    btfss  STATUS,Z
    goto   finisr
    clrf   cnt0
    call   int130ms
    goto   finisr
isr_recb
    bcf    STATUS,RP0          ;Banco0
    movf   RCREG,0           ;si hay dato, lo lee

```

```

bcf          PIR1,RCIF
movwfdato_r
call  recpi
goto  finisr
finisr      ;termina las interrupciones
            ;restaura w y el registro de estado
swapf statemp,0
movwfw STATUS
swapf wtemp,1
swapf wtemp,0
retfie
;::::::::::::;inicio;::::::::::::;
inicio
bsf  STATUS,RP0          ;Banco1
clrf TRISD              ;puerto D como salida
clrf TRISC
bsf  TRISC,7            ;Rx
movlw 0x06
movwfwADCON1           ;entradas o salidas digitales del puerto A
clrf TRISA
clrf TRISE
clrf TRISB ;
;::::::::::::;::::::::::::;uart
bsf  TXSTA,BRGH         ;pone bit BRGH=1 (velocidad alta)
movlw .25              ;valor para 9600 Bauds (Fosc=4 Mhz)
movwfw SPBRG           ;configura 9600 Bauds
bcf  TXSTA,SYNC        ;limpia bit SYNC (modo asíncrono)
bsf  PIE1,RCIE         ;Habilita interrupcion por recepcion Uart
bsf  TXSTA,TXEN        ;pone bit TXEN=1 (habilita transmisión)
;::::::::::::;
movlw b'10000111'
movwfwOPTION_REG       ;escaler 256 timer 0
bcf  STATUS,RP0        ;Banco 0
movlw b'11100000'
movwfw INTCON          ;habilitar interrupciones:por timer0
clrf PORTD
clrf PORTC
clrf PORTB
clrf PORTA
;::::::::::::;
clrf cnt0
clrf flag01
clrf TMR0
clrf cnt_err
;movlw 0x30
;movwfw var
bsf  RCSTA,SPEN        ;pone bit SPEN=1 (habilita puerto serie)
;::::::::::::;
bucle      ;espera una interrupcion, muestra las
            velocidades en el lcd
            btfsc flag01,0

```



```

goto    bu2_3
movlw  '%'
call    envia00
addwf  Ackk,0
call    envia00
incf   FSR,1
incf   filaa,1
movlw  'D'
xorwf  filaa,0
btfss  STATUS,Z
goto   bu2_2
nop

    ;;;
;bcf   RCSTA,CREN           ;deshabilita recepción
nop
bcf    PORTD,1
bcf    PORTD,2
nop
;.....
call   lee_dt2
;.....
movf   RCREG,0             ;si hay dato, lo lee
bcf    PIR1,RCIF
clrf   TMR0
bsf    INTCON,7
bcf    flag01,1
goto   bucle
;.....
;.....
int130ms
bsf    flag01,0
return
;.....
;.....
recpi
movf   dato_r,0
xorlw  0x0D
;xorlw '$'
btfss  STATUS,Z
goto   almacena_datos
movlw  '/'
movwf  INDF
incf   FSR,1
incf   cont_oD,1
movlw  0x03
xorwf  cont_oD,0
btfsc  STATUS,Z
bsf    flag01,1
return

```

```

almacena_datos
    movf dato_r,0
    andlw 0xF0
    xorlw 0x30
    btfsc STATUS,Z
    goto macena_datos333
    movf dato_r,0
    xorlw '.'
    btfsc STATUS,Z
    goto macena_datos222
    movf dato_r,0
    xorlw '-'
    btfsc STATUS,Z
    goto macena_datos222
    incf cnt_err,1
    nop
    return
macena_datos222
    movf dato_r,0
    movwf INDF
    incf FSR,1
    return
.....
.....
lee_dt22
    clrf Ackk
    movlw '#'
    call envia00
    movlw '1'
    call envia00
    addwf Ackk,1
    movlw 'D'
    call envia00
    addwf Ackk,1
    movlw '8'
    call envia00
    addwf Ackk,1
    movlw '%'
    call envia00
    addwf Ackk,0
    call envia00
    ;;;;;;
    clrf Ackk
    movlw '#'
    call envia00
    movlw '2'
    call envia00
    addwf Ackk,1
    movlw 'E'
    call envia00
    
```

```

addwf Ackk,1
movlw '0'
call  envia00
addwf Ackk,1
movlw '4'
call  envia00
addwf Ackk,1
movlw '%'
call  envia00
addwf Ackk,0
call  envia00
return
.....
.....
envia00
    bsf      STATUS,RP0          ;banco 1
esp_envio
    btfss   TXSTA,TRMT          ;checa si el buffer de transmisión
    goto   esp_envio          ;si está ocupado espera
    nop
    nop
    bcf     STATUS,RP0          ;regresa al banco 0
    movwf  TXREG                ;lo envía
    return
.....
.....
.....
.....;retardos:.....
.....
retardo_255us    ;100 cycles / 100useg
    movlw  0x21
    movwf  d1
ret33
    decfsz d1, f
    goto  ret33
    return
.....
ret
    movlw  .15
    movwf  d1
re
    decfsz d1
    goto  re
    return
.....
antirebote      ;15ms
    movlw  0xB6
    movwf  d1
    movlw  0x0C

```

```

movwfd2
cnt1
  decfsz d1, f
  goto a1
  decfsz d2, f
a1
  goto cnt1
  nop
  return
.....
.....
      END
    
```

Programación de adquisición de la señal de temperatura impermeable y PH en C:

```

#include <12F675.h>
#fuses NOMCLR, NOWDT, INTRC_IO
#use delay(clock=4M)
#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_A4,bits=8,ERRORS,FORCE_SW)
#define ONE_WIRE_PIN PIN_A1
#include <1wire.c>
#include <ds1820pr2.c>
#byte INTCON = 0x0B
int16 value;
int timeL;
int timeH;
int16 tiemp_D;
int16 Dist;
int16 PH;
int ph1;
int ph2;
int ph2_2;
int ph2_1;
///temperatura vaiables ASCII
int sign0t;
int pun50t;
int16 temperature;
//
void main() {
SETUP_ADC(ADC_CLOCK_DIV_16);
setup_adc_ports(AN0_ANALOG);
setup_timer_0(T0_INTERNAL);
setup_timer_0(T0_DIV_1);
while (TRUE) {
  if (input(PIN_A5)== 1)
  {
  delay_ms(15);
  while (input(PIN_A5)== 1)
  {
  }
  }
}
}
    
```

```

    delay_ms(15);
    set_adc_channel(0);
    delay_us(10);
    value=read_adc();
    if (value <= 186)
    {
        PH = 2236 - value * 12;
        ph1 = PH/100;
        ph2 = PH - (PH/100)*100;
        ph2_1 = ph2 /10;
        ph2_2 = ph2 - (ph2 /10)*10;
        if (ph2_2 > 4)
        {
            ph2_1 = ph2_1 + 1 ;
            if (ph2_1 == 10)
            {
                ph2_1 = 0;
                ph1 = ph1 + 1;
            }
        }
    }
    else
    {
        ph1 = 0;
        ph2_1=0;
    }
    //PH=PH/100;
    ///dist////////////////////////////////////
    output_high(PIN_A2); // triger01
    delay_us(10);
    output_low(PIN_A2);
    while (input(PIN_A3)== 0) //echo
    {
    }
    set_timer0(0);
    bit_clear(INTCON,2);
    timeH = 0;
    while (input(PIN_A3)== 1 && timeH < 255 ) //echo
    {
        if (bit_test(INTCON,2)== 1)
        {
            if (timeH < 255)
            {
                timeH = timeH + 1;
            }
            bit_clear(INTCON,2);
        }
    }
    timeL=get_timer0();
    if (bit_test(INTCON,2)== 1)

```

```

    {
    if (timeH < 255)
    {
        timeH = timeH + 1;
    }
    bit_clear(INTCON,2);
    }
set_timer0(0);
tiemp_D = make16(timeH, timeL);
Dist = tiemp_D/59;
////////////////////
temperature = ds1820_read();
sign0t = "+";
pun50t = "0";
if (temperature > 4095)
{
    sign0t = "-";
    temperature = ~temperature;
    temperature = temperature + 1;
}
if (bit_test(temperature,3)== 1)
{
    pun50t = "5";
}
temperature = temperature >> 4;
//////////////////enviars232////////////////////
printf("%lu",Dist);
putc(0xD);
//printf("%u",value);
/*if (PH < 10)
{
    printf("0.0");
    printf("%lu",PH);
}
if (PH < 100 && PH > 9 )
{
    printf("0.");
    printf("%lu",PH);
}
if (PH > 99)
{
    printf("%u",ph1);
    printf(".");
    printf("%u",ph2_1);
}*/
printf("%u",ph1);
printf(".");
printf("%u",ph2_1);
putc(0xD);
if (sign0t == '-')

```

```

    {
        putc(sign0t);
    }
    printf("%lu.",temperature);
    putc(pun50t);
    putc(0xD);
    //delay_ms(100);
}
}
}

```

Programación de la central de monitoreo en Assembler:

```

LIST P=16F877
INCLUDE "P16F877.INC"

__config 3F31h
;.....
pc_lac_tmp equ 0x20 ;registro Pclath temporal
wtemp equ 0x21 ;registro de trabajo temporal
statemp equ 0x22 ;registro de estado temporal
d1 equ 0x23 ;variables utilizadas en los retardos
d2 equ 0x24
apun equ 0x25
;.....
var equ 0x26
dato_r equ 0x27
flag01 equ 0x28
Ackk equ 0x29
;.....
;;pos del 0x60 al 0x 67 para datos
;.....
org 0x00
goto inicio
;.....;;interrupcion;.....;;
org 0x04
movwf wtemp ;guarda el registro W y el de estado (w en x banco)
swapf STATUS,0
bcf STATUS, RP1 ;
bcf STATUS, RP0 ;Bank 0
movwf statemp
movf PCLATH,0 ;guardo el registro PCLACTH
movwf pc_lac_tmp
bcf PCLATH,4 ;Pagina 0
bcf PCLATH,3
;.....
btfsf PIR1,RCIF ;verifica interrup de rx
goto isr_recb
goto finisr ;interrupcion del teclado
;.....

```

```

isr_recb
    bcf    STATUS,RP0                ;Banco0
    movf  RCREG,0                    ;si hay dato, lo lee
    bcf    PIR1,RCIF
    movwf dato_r
    call  recpi
    ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
    goto  finisr

finisr                                ;termina las interrupciones
    bcf    STATUS, RP1                ;
    bcf    STATUS, RP0                ;Bank 0
    movf  pc_lac_tmp,0 ;restaura PCLATH
    movwf PCLATH
    swapf statemp,0                    ;restaura w y el registro de estado
    movwf STATUS                      ;regresa a banco x
    swapf wtemp,1                      ;banco x
    swapf wtemp,0
    retfie

    ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
    ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
msg0x01
    movf  apun,0                      ;carga apuntador en W
    addwf PCL,1                        ;Salta W instrucciones adelante
    DT "Sensores T.1",0X00
    ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
    ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;

    ;;;;;;;;;;;;;;;;;;inicio;

inicio
    bcf    STATUS,RP1
    bsf    STATUS,RP0                ;Banco1
    movlw  0x06
    movwf  ADCON1                    ;todo digital
    clrf  TRISA                       ;
    clrf  TRISE
    clrf  TRISD                      ;puerto D,A,E como salida
    movlw  b'00000000'
    movwf  TRISB                       ;
    movlw  b'10000000'
    movwf  TRISC                      ;Rx
    ;;;;;;;;;;;;;;;;;;uart
    bsf    TXSTA,BRGH                ;pone bit BRGH=1 (velocidad alta)
    movlw  .25                        ;valor para 9600 Bauds (Fosc=4 Mhz)
    movwf  SPBRG                      ;configura 9600 Bauds
    bcf    TXSTA,SYNC                ;limpia bit SYNC (modo asíncrono)
    bsf    PIE1,RCIE                 ;Habilita interrupcion por recepcion Uart
    ;bsf    TXSTA, TXEN                ;pone bit TXEN=1 (habilita transmisión)
    ;;;;;;;;;;;;;;;;;;
    ;movlw  B'10000111'

```

```

;movwf     OPTION_REG           ;timer 0
;:
;:
;:
bcf  STATUS,RP0           ;Banco 0
clrf INTCON
clrf PORTA
clrf PORTE
clrf PORTD
clrf PORTC
clrf PORTB
bsf   PORTC,2
bsf   PORTC,5
bcf  PORTE,1
clrf  flag01
call  clera_men
;:
;:
call  lcd_fr_msg
;movf  PORTB,0
movlw b'11000000'
movwf INTCON           ;habilitar interrupciones: y externa
bsf  RCSTA,SPEN       ;pone bit SPEN=1 (habilita puerto serie)
bsf  RCSTA,CREN       ;Habilita recepción
;:
;:
bucle           ;espera
nop
goto bucle
;:
;:
recpi
movf  dato_r,0
xorlw '#'
btfss STATUS,Z
goto  $+.07
clrf  flag01
clrf  Ackk
movlw 0x60
movwf FSR
bsf   flag01,0
return
btfss flag01,0
return
btfsc flag01,7
goto  veri_ACKK
movf  dato_r,0
movwf INDF
addwf Ackk,1
incf  FSR,1
movlw 0x68
xorwf FSR,0
btfsc STATUS,Z

```

```

        clrf    flag01
        return
        ;;
        bsf      flag01,7
        return
veri_ACKK
        clrf    flag01
        movf   dato_r,0
        xorwf  Ackk,0
        btfs   STATUS,Z
        goto  $+.09
        movlw 0x60
        movwf FSR
        call  muns_LCD01
        incf  FSR,1
        movlw 0x68
        xorwf FSR,0
        btfs   STATUS,Z
        goto  $-.05
        clrf   flag01
        call  clera_men
        return
        ;;;;;;;;;;;;;;;;;;
muns_LCD01
        btfs   flag01,1
        goto  num_tanq
        btfs   flag01,2
        goto  tipo_sens
        movf   INDF,0
        xorlw  '%'
        btfs   STATUS,Z
        goto  $+.04
        movf   INDF,0
        call  LCD_DATOS
        return
        movlw  " "
        call  LCD_DATOS
        movlw 0x67
        xorwf  FSR,0
        btfs   STATUS,Z
        return
        incf  FSR,1
        goto  $-.07
        ;movwf  FSR
num_tanq
        bsf      flag01,1
        nop
        nop
        return
tipo_sens

```

```

bsf          flag01,2
movf INDF,0
xorlw 'B'
btfs STATUS,Z
goto $+.04
movlw 0xC4
call  LCD_REG
return
movf INDF,0
xorlw 'C'
btfs STATUS,Z
goto $+.04
movlw 0x98
call  LCD_REG
return
movf INDF,0
xorlw 'A'
btfs STATUS,Z
goto $+.04
movlw 0xD8
call  LCD_REG
return
movf INDF,0
xorlw 'D'
btfs STATUS,Z
goto $+.04
movlw 0xA3
call  LCD_REG
return
movf INDF,0
xorlw 'E'
btfs STATUS,Z
goto $+.04
movlw 0xE3
call  LCD_REG
return
clrf  flag01
return
;<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<
titulo0x01
clrf  apun
movlw 0x84
call  LCD_REG
to0x01
call  msg0x01                ;obtiene el siguiente carácter apuntado
xorlw 0x00                ;lo guarda en dato
btfsc STATUS,Z            ;
goto  endlcdmsg           ;si es, reinicia
call  LCD_DATOS
incf  apun,1              ;apunta al siguiente carácter

```

```

        goto    to0x01          ;repite
endlcdmsg
        clrf   apun
        return
;<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<<
lcd_fr_msg
        call  LCD_INI      ;Inicia LCD
        movlw 0x01
        call  LCD_REG
        call  antirebote
        call  titulo0x01
        movlw 0xC0
        call  LCD_REG
        movlw "P"
        call  LCD_DATOS
        movlw "h"
        call  LCD_DATOS
        movlw ":"
        call  LCD_DATOS
        ;;;
        movlw 0x9E
        call  LCD_REG
        movlw "H"
        call  LCD_DATOS
        movlw "."
        call  LCD_DATOS
        movlw "A"
        call  LCD_DATOS
        movlw ":"
        call  LCD_DATOS
        ;;;
        movlw 0x94
        call  LCD_REG
        movlw "T"
        call  LCD_DATOS
        movlw "e"
        call  LCD_DATOS
        movlw ":"
        call  LCD_DATOS
        ;;;
        movlw 0xDE
        call  LCD_REG
        movlw "T"
        call  LCD_DATOS
        movlw "."
        call  LCD_DATOS
        movlw "A"
        call  LCD_DATOS
        movlw ":"
        call  LCD_DATOS

```

```

;;;
movlw 0xD4
call LCD_REG
movlw "N"
call LCD_DATOS
movlw "i"
call LCD_DATOS
movlw ":"
call LCD_DATOS
return

;*****
;*****CONTROL LCD;*****
;*****
LCD_E
    bsf PORTE,0    ;Activa lcd
    nop           ;Espera 1uS
    bcf PORTE,0    ;Desactiva lcd
    return
LCD_REG
    bcf PORTE,2    ;Modo instruccion
    movwf PORTD    ;Saca el codigo de instruccion
    call retardo_255us ;pierde 255uS.
    goto LCD_E     ;habilita el lcd
LCD_DATOS
    bsf PORTE,2    ;Modo dato
    movwf PORTD    ;saca valor ASCII por RD
    call retardo_255us ;pierde 255uS.
    goto LCD_E     ;habilita el lcd
LCD_INI
    ;configura lcd
    movlw b'00111000'
    call LCD_REG    ;Codigo de instruccion
    movlw b'00000110' ;incrementa la posición del cursor
    call LCD_REG
    movlw b'00001100' ;pantalla On, cursor Off,Parpadeo de cursor Off
    call LCD_REG
    movlw b'10000000' ;Coloca el dato enviado en la primera fila '00'
    call LCD_REG
    return

;*****
;*****
clera_men    ;0x60 - 0x69
    movlw 0x60
    movwfFSR
clera_buc2
    clrf INDF
    incf FSR,1
    movlw 0x68
    xorwf FSR,0
    btfss STATUS,Z
    goto clera_buc2

```

```
return
;
;
;
;retardos;
;
retardo_255us      ;100 cycles / 100useg
    movlw 0x21
    movwfd1
    decfsz d1, f
    goto  $-1
    return
;
antirebote        ;15ms
    movlw 0xB6
    movwfd1
    movlw 0x0C
    movwfd2
cnt1
    decfsz d1, f
    goto  a1
    decfsz d2, f
a1
    goto  cnt1
    nop
    return
;
;
;
END
```