

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLUVIÓGRAFO ELECTRÓNICO CON
TRANSMISIÓN DE DATOS INALÁMBRICA A PARTIR DE UN PLUVIÓGRAFO TIPO
HELLMAN.



GIOVANNY ANDRÉS SANDOVAL VELASCO
JACOBO TOBAR MOLANO

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
Departamento de Electrónica, Instrumentación Y Control.
Línea de Investigación de Automatización del grupo de I+D en Automática Industrial
Popayán, Marzo de 2011.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLUVIÓGRAFO ELECTRÓNICO CON
TRANSMISIÓN DE DATOS INALÁMBRICA A PARTIR DE UN PLUVIÓGRAFO TIPO
HELLMAN.



GIOVANNY ANDRÉS SANDOVAL VELASCO
JACOBO TOBAR MOLANO

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones.

Director: Mg Víctor Hugo Mosquera.

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
Departamento de Electrónica, Instrumentación Y Control.
Línea de Investigación de Automatización del grupo de I+D en Automática Industrial
Popayán, Marzo de 2011

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.	8
2. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE ESTACIONES PLUVIOGRÁFICAS.	11
2.1. EL PLUVIÓGRAFO.	11
2.2. CLASES DE PLUVIÓGRAFOS.....	12
2.2.1. PLUVIÓGRAFO DE FLOTADOR SIN SIFÓN AUTOMÁTICO.....	12
2.2.2. PLUVIÓGRAFO DE FLOTADOR CON SIFÓN AUTOMÁTICO.....	13
2.2.3. PLUVIÓGRAFO DE BALANZA.....	13
2.2.4. PLUVIÓGRAFO DE OSCILACIÓN.....	14
2.2.5. PLUVIÓGRAFO DE BALANZA Y DE OSCILACIÓN.....	14
2.2.6. PLUVIÓGRAFO ELECTRÓNICO.....	15
2.3. INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN.....	16
3. DISEÑO DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO ADAPTABLE A UN PLUVIÓGRAFO TIPO HELLMAN.	22
3.1. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CIRCUITO.....	22
3.1.1. BLOQUE MICROCONTROLADOR.....	23
3.1.2. BLOQUE PANTALLA LCD.....	27
3.1.3. CONTROLADOR DE RED.....	27
3.1.4. MEMORIA EEPROM.....	30
3.1.5. SENSOR.....	30
3.1.6. PUERTO DE CONFIGURACIÓN.....	32
3.2. DIAGRAMA ESQUEMÁTICOTOTAL DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO.....	33
3.2.2. CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	34
4. TRANSMISIÓN INALÁMBRICA.	35
4.1. ESTÁNDAR IEEE 802.11_x.....	37
4.2. MARCO LEGAL Y FRECUENCIAS DE OPERACIÓN.....	38
4.3. DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO DE RED PARA LA TRANSMISIÓN INALÁMBRICA.....	38
4.4. TOPOLOGÍAS.....	40
4.5. EQUIPOS INALÁMBRICOS CON TECNOLOGÍA IEEE 802.11.....	41
4.5.1. ROUTER INALÁMBRICO. QP-WR258GHP.....	41
4.5.2. ACCESS POINT (AP) QPCOM QP-WO259GHP.....	41
4.7. RADIOENLACE.....	42
4.7.1. CALCULO DEL ENLACE.....	42
4.8. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA.....	45
5. DISEÑO SOFTWARE.	47
5.1. CONSIDERACIONES GENERALES.....	47
5.2. MODELO DE REQUISITOS.....	48
5.2.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	48
5.2.2. DESCRIPCIÓN DE CASOS DE USO.....	49
5.3. MODELO DE ANÁLISIS.....	49
5.3.1. DIAGRAMA DE SECUENCIAS.....	49
5.3.2. DIAGRAMA DE COMPONENTES.....	57
5.3. DISEÑO GENERAL DE LA APLICACIÓN SOFTWARE.....	57
6. PRUEBAS Y RESULTADOS.	60
6.1. PLUVIOGRAMAS OBTENIDOS.....	68
6.2. ESTACIÓN DAVIS VANTAGE PRO2 PLUS.....	75

6.3. SISTEMA DE INFORMACIÓN REGIONAL DEL AGUA.	77
6.4. APORTES DEL PROYECTO.....	80
7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	82
7.1. CONCLUSIONES.....	82
7.2. TRABAJOS FUTUROS.....	82
8. BIBLIOGRAFÍA.	84

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1.1 Pluviógrafo de Benedetto Castelli.	8
Figura 1.2 Diagrama de General del Sistema.	10
Figura 2.1 Representación de 1 mm de lluvia.	11
Figura 2.2 Pluviógrafo sin sifón automático.....	13
Figura 2.3 Pluviógrafo con sifón automático.	13
Figura 2.4 Pluviógrafo de balanza.....	14
Figura 2.5 Pluviógrafo de oscilación.	14
Figura 2.6 Pluviógrafo de balanza y de oscilación.	15
Figura 2.7 Pluviógrafo Tecmes modelo TS1221.	15
Figura 2.8 Pluviógrafo electrónico Modelo RG-200.....	16
Figura 2.9 Pluviogramas.	16
Figura 2.10 Curva masa de precipitación.	17
Figura 2.11 Hietogramas.	18
Figura 2.12 Fallas comunes en los registros de los pluviógrafos.....	19
Figura 2.13 Falla de tinta en el registro.	19
Figura 2.14 Óxido en partes del sistema de Relojería.	20
Figura 2.15 Manguera de drenaje.	21
Figura 3.1 Diagrama de Bloques del Circuito.	23
Figura 3.2 Comparación Pila TCP/IP de Microchip y Modelo de Referencia TCP/IP.....	25
Figura 3.3 Diagrama Esquemático PIC-Pantalla LCD.	27
Figura 3.4 Tarjeta de Red ISA.	28
Figura 3.5 Diagrama esquemático PIC – RTL8019as.	29
Figura 3.6 Conexión del Jack de Red.	29
Figura 3.7 Diagrama esquemático PIC – Memoria EEPROM 24lc 256.	30
Figura 3.8 Medidor de Combustible.	31
Figura 3.9 Potenciómetro Lineal.	31
Figura 3.10 Diagrama esquemático de complementos.	32
Figura 3.11 Diagrama esquemático PIC – Max232.....	32
Figura 3.12 Diagrama Esquemático Total del circuito.	33
Figura 3.13 Circuito Electrónico.	33
Figura 4.1 Ubicación de la Estación remota de monitoreo y la estación Meteorológica....	39
Figura 4.2. Instalación de Equipos inalámbricos.	39
Figura 4.3 Perfil del enlace con las alturas sobre el nivel del mar.	40
Figura 4.4 Topología usada en la red.	40
Figura 4.5 Router QP-WA258GHP.	41
Figura 4.6 Access Point Inalámbrico QP-WO259GHP.....	42
Figura 4.7 Zonas Fresnel entre Transmisor (TX) y Receptor(RX).	43
Figura 4.8 Primera Zona Fresnel.	44
Figura 4.9 Estación Meteorológica Universidad del Cauca.	45
Figura 4.10 Diagrama de Instalación del Pluviógrafo Electrónico.....	46
Figura 4.11 Implementación del Pluviógrafo Electrónico.....	46
Figura 5.1 Casos de Uso.	49
Figura 5.2 Diagrama de secuencia para el caso de uso Consultar Pluviograma.	50
Figura 5.3 Diagrama de secuencia para el caso de uso Consultar Pluviosidad.....	51
Figura 5.4 Diagrama de secuencia para el caso de uso Consultar Registro de Lluvias....	52
Figura 5.5 Diagrama de secuencia para el caso de uso Consultar Estadísticas.....	53
Figura 5.6 Diagrama de secuencia para el caso de uso Consultar Información.	54

Figura 5.7 Diagrama de secuencia para el caso de uso Iniciar/Detener Captura de datos.	55
Figura 5.8 Diagrama de secuencia para el caso de uso Consultar Configuración del Circuito).	56
Figura 5.9 Diagrama de secuencia para el caso de uso Modificar Parámetros.	57
Figura 5.10 Diagrama de Componentes.	57
Figura 5.11 Página Principal de la Aplicación Web.	58
Figura 5.12 Página Administrador.	59
Figura 6.1 Sistema de Flotador y Plumilla de un Pluviógrafo tipo Hellman.	60
Figura 6.2 Instalación del sensor tipo potenciómetro medidor de combustible.	61
Figura 6.3 Medidas tomadas con el sensor tipo potenciómetro medidor de combustible.	61
Figura 6.4 Instalación del sensor tipo potenciómetro deslizante.	62
Figura 6.5 Medidas tomadas con el sensor tipo potenciómetro deslizante.	62
Figura 6.6 Rango de movimiento de cada sistema de medida.	64
Figura 6.7 Pluviograma obtenido con Pluviógrafo Electrónico.	68
Figura 6.8 Pluviograma obtenido con Pluviógrafo tipo Hellman de sifón Automático.	69
Figura 6.9 Superposición de los dos pluviogramas.	70
Figura 6.10 Ampliación del pluviograma para la lluvia en estudio.	71
Figura 6.11 Hietograma de precipitación.	72
Figura 6.12 Curva masa de precipitación.	73
Figura 6.13 Hietograma de intensidades.	73
Figura 6.14 Gráfica de lluvias obtenida por el pluviógrafo electrónico para el rango de tiempo (13:45:00 – 17:00:00 del día 23 de octubre de 2010).	74
Figura 6.15 Resultados del análisis aplicado a una lluvia obtenido por el Pluviógrafo Electrónico.	75
Figura 6.16 Estación Meteorológica Davis Vantage Pro2 Plus Inalámbrica.	76
Figura 6.17 Pluviómetro tipo balancín u oscilatorio de la estación meteorológica Davis.	76
Figura 6.18 Gráfica de Precipitación Acumulada presentada por el Sistema de Información Regional del Agua para la fecha (actualización 17-Nov-2010 9:07:02) para estación Davis ubicada en la zona de estudio.	77
Figura 6.19 Gráfica de Precipitación Acumulada presentada por el Sistema de Información Regional del Agua para la fecha (actualización 18-Nov-2010 8:56:02) para estación Davis ubicada en la zona de estudio.	78
Figura 6.20 Pluviograma, Curva Masa y Hietograma, obtenidos del software del Pluviógrafo Electrónico para la fecha comprendida entre 4:00 am y 8:00 am del día 17 de Noviembre de 2010.	78
Figura 6.21 Pluviograma, Curva Masa y Hietograma obtenidos del software del Pluviógrafo Electrónico para la fecha comprendida entre 00:00:00 y 23:59:59 del día 17 de Noviembre de 2010.	79
Figura 6.22 Pluviograma obtenido por el Pluviógrafo Hellman de Sifón automático.	79
Figura 6.23 Pluviograma obtenido por el Pluviógrafo Hellman de Sifón automático para la fecha comprendida entre 00:00:00 y 23:59:59 del día 17 de Noviembre de 2010.	80

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 2.1 Descripción de la intensidad para las lluvias.	17
Tabla 4.1 Características de algunas Tecnologías Inalámbricas.....	36
Tabla 4.2 Variaciones de la norma IEEE802.11.....	37
Tabla 4.3 Bandas de frecuencias. Resolución 689 de 21/04/2004, artículo 5º.	38
Tabla 4.4 Características técnicas del QPCOM QP-WA258GHP.....	41
Tabla 4.5 Características técnicas del QPCOM QP-WO259GHP.	42
Tabla 4.6 Listado de Materiales para la Instalación del sistema Inalámbrico.	46
Tabla 5.1 Caso de uso Consultar pluviograma en Tiempo Real.....	49
Tabla 5.2 Caso de uso Consultar Pluviosidad.....	50
Tabla 5.3 Caso de Uso Consultar Registro de lluvias.	51
Tabla 5.4 Caso de Uso Consultar Estadísticas.	52
Tabla 5.5 Caso de Uso Consultar Información.....	53
Tabla 6.1 Valores observados sobre el papel para cantidades de agua en mililitros.	63
Tabla 6.2 Medidas para calibración del sensor del pluviómetro electrónico.	65
Tabla 6.3 Mediciones obtenidas para una cantidad de agua de 100 ml (5 mm).	67
Tabla 6.4 Valores obtenidos de los pluviogramas de los dos instrumentos.....	69
Tabla 6.5 Tabla de lluvias observadas en el registro del pluviógrafo Hellman.....	70
Tabla 6.6 Información de Pluviosidad para una lluvia aislada.	71
Tabla 6.7 Categorías de pluviosidad IDEAM.....	72
Tabla 6.8 Hietograma de Intensidades.	72

ÍNDICE DE ANEXOS.

ANEXO A. MANUAL DE USUARIO.....	87
ANEXO A1. CONFIGURACIÓN DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO.....	87
ANEXO A2. CONFIGURACIÓN DE EQUIPOS INALÁMBRICOS.....	95
ANEXO A3. CONFIGURACIÓN SOFTWARE Y APLICACIÓN WEB.....	101
ANEXO B. TABLA DE LA DISTRIBUCIÓN T-STUDENT.....	117

1. INTRODUCCIÓN.

Los instrumentos meteorológicos son una herramienta de gran importancia para los estudios climatológicos, permiten cuantificar parámetros ambientales como temperatura, precipitación atmosférica, humedad, radiación solar, entre otros parámetros que comúnmente se evalúan a diario, bajo los estándares de medición definidos por la Organización Meteorológica Mundial [1].

En el transcurso de la historia se ha visto la necesidad de conocer el comportamiento de la lluvia y sus efectos. Según un manuscrito escrito en lengua indo-aria, indica que las primeras mediciones de la precipitación atmosférica se realizaron en India desde el siglo IV antes de Cristo, en regiones donde el abastecimiento de agua escaseaba en ciertas épocas del año. El primer pluviómetro del cual se tiene registro fue diseñado en Corea en 1441, utilizado para determinar la cantidad de lluvia. Una red de medición de la precipitación cubría casi la totalidad de Corea, y los resultados fueron recogidos para el rey Sejo de Corea [2]. En 1639, Benedetto Castelli (1577-1644), diseña el primer pluviógrafo, a diferencia del pluviómetro, el instrumento efectúa la medida de agua de la lluvia de acuerdo al tiempo en que sucede el evento, y es registrada en un papel. Este instrumento se le llamó pluviógrafo de oscilación o balancín, debido a su sistema de medida (Figura 1.1), [3].



Figura 1.1 Pluviógrafo de Benedetto Castelli.

(Fuente: <http://www.divulgameteo.es/uploads/Pluvi%C3%B3metro-Hellmann.pdf>).

Las variaciones de los modelos de los pluviómetros y pluviógrafos fueron numerosas, los diseños variaban desde embudos largos o cortos, acoplados a recipientes de diversas formas, tamaños y materiales a fin de encontrar el diseño de mejor facilidad de fabricación y economía. El meteorólogo Hellmann (Gustav Johann Georg Hellmann, 1854 - 1939), es conocido como el diseñador del pluviómetro y el pluviógrafo de sifón automático que llevan su nombre y de uso generalizado hoy en día. El pluviógrafo consiste, en esencia, en un flotador que sube a medida que la precipitación aumenta, y una plumilla efectúa la marcación de ese movimiento sobre un papel especial. El papel se ubica en un tambor que gira a velocidad constante gracias un sistema de relojería. Cuando el agua acumulada en un cilindro colector llega a un cierto nivel, el agua es drenada hacia un cubeta totalizadora debido a un sistema de sifón [3].

El instrumento meteorológico usado como punto de partida para este proyecto es un Pluviógrafo tipo Hellman de sifón automático, el cual es usado para la medición de la precipitación atmosférica, esta variable se registra sobre un papel especial, generando una gráfica que muestra la actividad del fenómeno. El Departamento de Hidráulica e Hidrología de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca, hace uso de este instrumento y describe la necesidad de la implementación de un sistema electrónico de medida, adaptable a un pluviógrafo mecánico que permita mejorar los procesos de funcionamiento de dicho instrumento, a fin de obtener mayor calidad de la información de la precipitación atmosférica. El pluviógrafo mecánico posee un sistema que requiere de personal que se desplace a la zona de ubicación del instrumento a cambiar el papel, cargar la plumilla con tinta y dar cuerda al sistema de relojería, por lo general se debe realizar a diario, semanal o mensual según el tipo de pluviógrafo (el pluviógrafo utilizado usa papel de registro semanal). Además se deben analizar los datos a partir de los gráficos, que en ocasiones pueden presentar problemas como gráficas borrosas debido a la falta de tinta o atasco en la plumilla, obstrucción en los ductos de agua, fallas de calibración, entre otras, que degeneran la información que se registra sobre el papel del pluviógrafo, dificultando la extracción de los datos y en algunas ocasiones se presentan pérdidas de información.

El diseño del sistema que se presenta en este trabajo de grado tiene como objetivo realizar la implementación de un circuito electrónico adaptable a un pluviógrafo tipo Hellman de sifón automático, destinado a la adecuación de la información que se obtiene de esta clase de instrumentos, con el fin de permitir el control de la información desde un equipo distante, el cual ejerce funciones de captura, almacenamiento, análisis y visualización de la información. Además la comunicación entre el circuito electrónico y el equipo de control se efectúa mediante un sistema inalámbrico que opera en las frecuencias de uso libre en Colombia. El equipo destinado al control del instrumento permite la visualización de la información en una página Web, además de controlar los procesos que intervienen en el pluviógrafo electrónico, entre los que se encuentran; presentación de gráficas en tiempo real, consulta de datos históricos, configuración de parámetros de funcionamiento, entre otros. Por otra parte la comunicación entre la estación de monitoreo remota y el circuito electrónico que se instala en el pluviógrafo, hace uso de dispositivos inalámbricos de transmisión de datos y tarjetas de control basadas en el uso de los protocolos TCP/IP, haciendo posible la conexión del circuito a las redes Ethernet cercanas.

El diseño del pluviógrafo electrónico hace posible reducir los costos de operación de una estación pluviográfica, debido a que el nuevo sistema establece mejoras en las funciones de toma de datos y análisis de información, evitando generar gastos de mantenimiento, vigilancia y transporte que requieren estas estaciones pluviográficas.

La solución que se desarrolla en este trabajo de grado describe un sistema que se compone de un circuito electrónico, dispositivos para redes inalámbricas, un computador y una aplicación software; la figura 1.2, muestra el esquema general del sistema el cual se le llama en el transcurso del documento como el sistema del pluviógrafo electrónico. El circuito electrónico permite el control de un sensor que sigue el movimiento del flotador del pluviógrafo, este circuito se conecta por medio de un cable a un dispositivo de red inalámbrico (Router o Access Point), estableciendo la comunicación hacia una estación remota de monitoreo que posee otro dispositivo de red inalámbrico (Router). Esta estación remota se encarga de controlar mediante un software las condiciones de funcionamiento

del circuito electrónico y procesos necesarios para el almacenamiento y presentación de los datos provenientes de la estación pluviográfica.

Una característica de la estación pluviográfica mediante este sistema, es permitir la conexión del circuito electrónico hacia Internet, o hacia un dispositivo de red inalámbrico cercano, como un AccessPoint o un Router, con el fin de establecer un camino de comunicación con la estación de control, teniendo en cuenta si la red es alcanzable. Esta solución hace posible obtener los datos del circuito electrónico ya sea desde una estación de monitoreo cercana o desde una estación de monitoreo que se encuentre a varios kilómetros de la estación pluviográfica, ya que no requiere de una conexión directa (estación pluviográfica – estación remota de monitoreo).

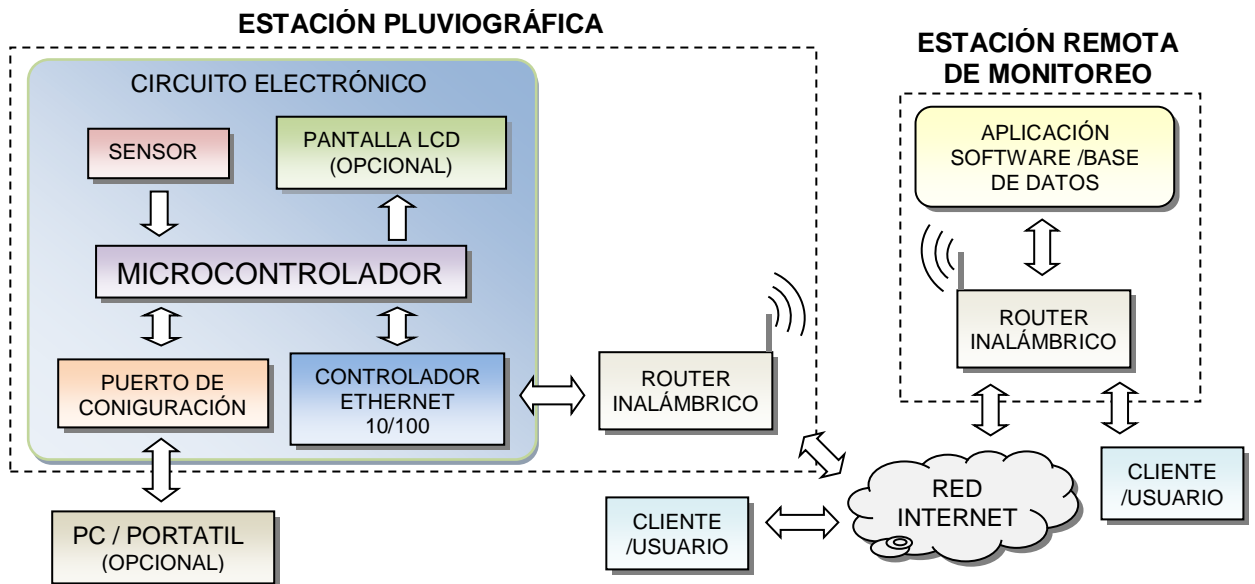


Figura 1.2 Diagrama de General del Sistema.

2. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE ESTACIONES PLUVIOGRÁFICAS.

2.1. EL PLUVIÓGRAFO.

Es un instrumento meteorológico utilizado en el estudio y análisis de las precipitaciones atmosféricas y tiene como función, registrar en un gráfico la cantidad de agua caída en un tiempo determinado, lo cual permite conocer la cantidad, duración, intensidad y periodo en que ocurre la lluvia, ya que es posible conocer la hora de inicio y finalización del fenómeno [4]. Estos registros por lo general se realizan sobre un papel de escala especial, donde el eje horizontal indica el tiempo y el eje vertical indica la medida de la lluvia que se expresa en milímetros, con marcaciones que van desde el valor "0mm" hasta el valor "10mm". Un milímetro de lluvia es equivalente a un litro de agua precipitada por metro cuadrado de superficie [5].

$$\frac{1\text{Litro}}{1\text{m}^2} = \frac{0.001\text{m}^3}{1\text{m}^2} = 0.001\text{m} = 1\text{mm}. \quad (2.1).$$

En la figura 2.1, se muestra la representación de ésta medida; tomando una bandeja de un metro cuadrado idealmente plana y paredes rectas, al agregar un litro de agua sobre ella, se formará una película de 1 mm de altura. De esta manera es posible expresar de la medida de la precipitación en milímetros (mm) o en litros por metro cuadrado (Litros/m²) [3].

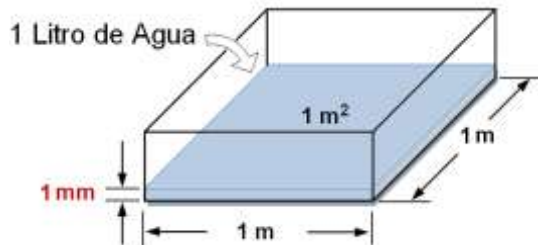


Figura 2.1 Representación de 1 mm de lluvia.

El funcionamiento del pluviógrafo consiste en un mecanismo con un embudo que conduce la lluvia hacia un recipiente colector, y este a su vez contiene un flotador unido a una plumilla cargada con tinta para realizar la marcación del registro sobre el papel de escala especial, el cual se adhiere a un tambor que gira a velocidad constante gracias a que posee un sistema de relojería que establece el tiempo de giro. Normalmente el embudo tiene aproximadamente 0.02m² de superficie (área de la boca del embudo), ubicado en la parte superior del instrumento, y el recipiente colector tiene una capacidad de 10mm de lluvia (0.01 m), por lo tanto de la ecuación 2.1, se tiene que la capacidad del recipiente en litros es:

$$CapRecipiente_{[\text{Litros}]} = SuperficieEmbudo_{[\text{m}^2]} * CapRecipiente_{[\text{m}]} \quad (2.2)$$

$$CapRecipiente_{[\text{Litros}]} = 0.02\text{m}^2 * 0.01\text{m} = 0.0002\text{m}^3 = 0.2\text{Litros}. \quad (2.3)$$

Y en mililitros es:

$CapRecipiente_{[mL]} = 200 \text{ mL}$.

(2.4)

De lo anterior se deduce que 200ml de agua que se agregan al pluviógrafo, equivalen a 10 mm de agua que se representan en el papel del pluviógrafo.

Conocer la información pluviográfica de una zona ayuda a entender el efecto que tiene la lluvia en el área cercana de ubicación del instrumento. Los registros de los pluviógrafos son usados comúnmente en áreas de la ingeniería civil, la agricultura, y en especial los sistemas monitoreo climatológico. En el área de la ingeniería civil, muchas obras de ingeniería en su diseño tienen en cuenta los factores de pluviosidad a los cuales se expone, por ejemplo, un correcto dimensionamiento en los drenajes en una obra civil garantizaría la vida útil de una carretera, una vía férrea, un aeropuerto o una represa, esta última influenciada directamente por las lluvias, hace que los registros de los pluviógrafos se tomen como fuente vital de información y que necesariamente provengan de múltiples fuentes pluviográficas, alojados en los principales caudales hídricos que abastecen a la represa [6]. Por otra parte en el área de la agricultura, los registros son usados para el monitoreo de las condiciones climáticas de los cultivos, debido a los efectos de humedad que puede soportar el cultivo y la erosión del suelo que es causada por la lluvia que no es filtrada y se escurre superficialmente [7]. Principalmente el uso de los registros de los pluviógrafos se ve enfocado en el estudio de las condiciones climatológicas, mediante los sistemas de monitoreo con los que cuentan algunas entidades de carácter público y privado, ya que estos sistemas permiten determinar las condiciones actuales de pluviosidad en una zona específica, además de sus históricos a fin de suministrar la información detallada de la precipitación, que en algunos casos se usa para predecir o indicar anomalías en los niveles de agua de ríos o quebradas, cercanos la ubicación de estos instrumentos [8] y [9].

2.2. CLASES DE PLUVIÓGRAFOS.

Existen diversos tipos de pluviógrafos, se diferencian entre sí por la forma, tamaño y mecanismo para efectuar la medición de la precipitación, la importancia del mecanismo determina las características de funcionamiento y mantenimiento requerido al instrumento. A continuación se presentan algunos tipos de pluviógrafos.

2.2.1. PLUVIÓGRAFO DE FLOTADOR SIN SIFÓN AUTOMÁTICO.

Este tipo de pluviógrafo posee un depósito cilíndrico para coleccionar el agua, en su interior se encuentra un flotador unido a una varilla usada como guía. En esa varilla se apoya la plumilla con un dispositivo tal, que cuando la plumilla llega a la parte superior, esta cae al inicio. El depósito se vacía con un sifón que se carga dándole un impulso al flotador o añadiendo agua para iniciar el drenaje del agua (Figura 2.2). El registro de la lluvia es graficado en un papel especial ubicado en un tambor que gira debido a un sistema de cuerda [8].



Figura 2.2 Pluviógrafo sin sifón automático.
 (Fuente: <http://www.ov.ingv.it/italiano/mostra/pluviografo.htm>.)

2.2.2. PLUVIÓGRAFO DE FLOTADOR CON SIFÓN AUTOMÁTICO.

Este instrumento (Figura 2.3), es similar al anterior, con la diferencia que el drenado del agua inicia automáticamente cuando la plumilla ha alcanzado su máxima altura, generando una marcación de vaciado en el registro, y quedando la plumilla en el punto mínimo de la gráfica (punto cero en el registro). En el pluviógrafo tipo Hellman, los cambios de altura del agua en el depósito cilíndrico son registrados por una plumilla, la cual está unida a un flotador que se encuentra en el interior del depósito de agua. La boca de pluviógrafo, está situada a 1.5 m del suelo de acuerdo a una norma internacional que establece las condiciones de ubicación del instrumento [8].

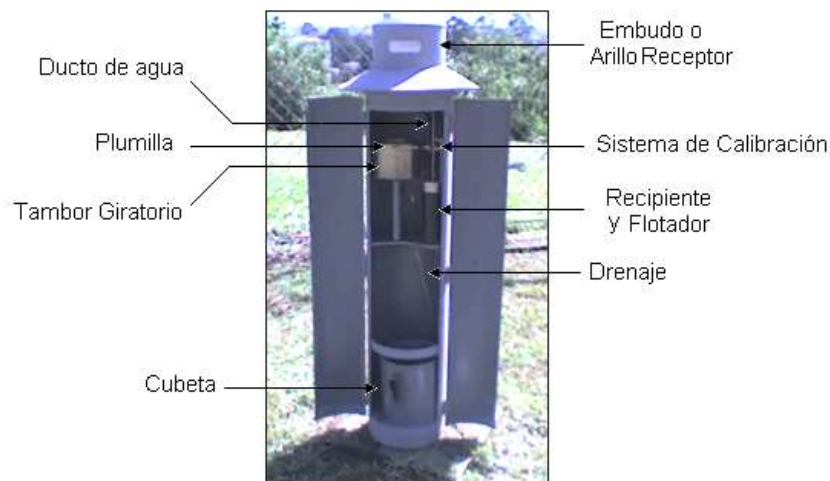


Figura 2.3 Pluviógrafo con sifón automático.

2.2.3. PLUVIÓGRAFO DE BALANZA.

Este equipo posee un recipiente el cual se ubica sobre un mecanismo tipo balanza de medición de peso. Cuando el agua de la lluvia incide en el recipiente, genera un desplazamiento de la plumilla, permitiendo realizar la gráfica sobre el papel. Algunos instrumentos también poseen un sistema de relojería similar al usado por pluviógrafo anterior (Figura 2.4). Los registros obtenidos por este tipo de instrumento se ven

afectados por las vibraciones debidas al viento, pero estas se pueden evitar o mejorar con la instalación de amortiguadores de aceite en la sección mecánica de la balanza. Por lo general este instrumento tiene dos recipientes para la captura de agua, debido a que debe ser sustituido una vez esté lleno el recipiente que se encuentra sobre la balanza, en especial se tiene en cuenta este proceso de cambio del recipiente, cuando se presentan lluvias en el instante del cambio [8].

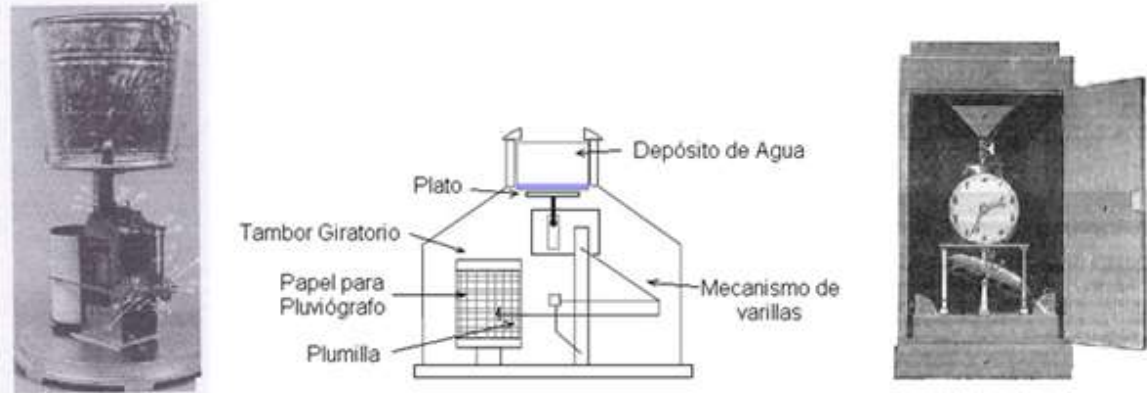


Figura 2.4 Pluviógrafo de balanza.

(Fuente: <http://www.meteored.com/ram/7436/los-medidores-de-la-lluvia-en-la-historia/>).

2.2.4. PLUVIÓGRAFO DE OSCILACIÓN.

En este tipo de pluviógrafo, el agua cae sobre un pequeño depósito que tiene dos compartimientos iguales, llamados canalones. Cuando se llena de agua un canalón, se produce un volcado del agua hacia unos ductos de drenaje, dejando en posición el otro canalón para coleccionar el agua. Cada vez que existe un volcado, se genera un movimiento en un engranaje que transmite el movimiento a una plumilla, realizando la marcación sobre un papel (Figura 2.5). Este sistema es usado también en algunos pluviógrafos que tienen un contacto eléctrico, para registrar el número de veces en que ocurren los volcados. Este método puede considerarse continuo, puesto que el volumen de los dos depósitos es del orden de 5 cm^3 (un cuarto de mm de lluvia) [8].

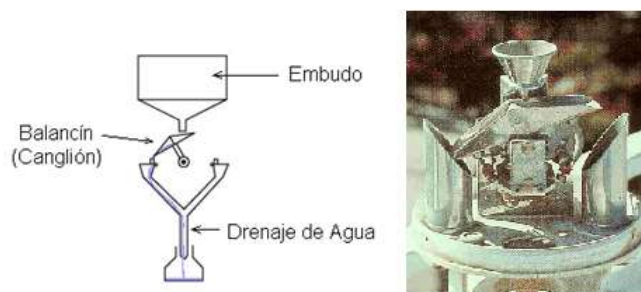


Figura 2.5 Pluviógrafo de oscilación.

(Fuente: <http://asignatura.us.es/pfitotecnia/textosC/imagenes/Fig28.jpg>).

2.2.5. PLUVIÓGRAFO DE BALANZA Y DE OSCILACIÓN.

Este pluviógrafo es conocido como pluviógrafo Nilsson y tiene un depósito con cuatro compartimientos donde almacena el agua. El sistema está equilibrado por un peso y se mueve hacia abajo cuando la lluvia cae en uno de los compartimientos, elevando el peso y accionando la plumilla, una vez que un compartimiento es llenado (3 mm de lluvia), el

depósito gira vaciando el agua y quedando el compartimiento siguiente en disposición de recoger el agua (Figura 2.6) [8].

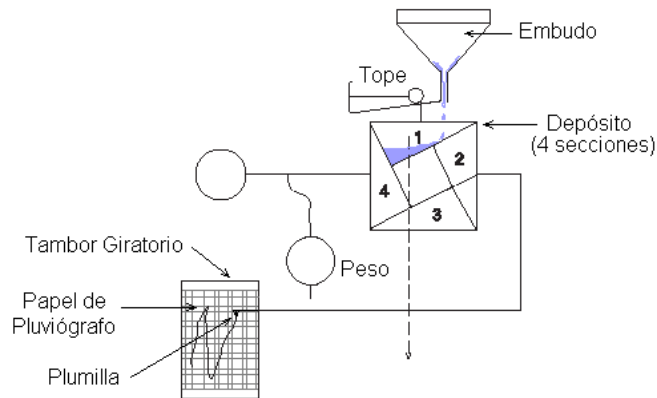


Figura 2.6 Pluviógrafo de balanza y de oscilación.

2.2.6. PLUVIÓGRAFO ELECTRÓNICO.

La característica principal de este dispositivo es obtener datos de la precipitación atmosférica mediante un sistema electrónico, con el propósito de generar un registro que es graficado en función del tiempo, para este proceso intervienen componentes software y hardware encargados de la visualización y almacenamiento de la información.

El Pluviógrafo TECMES, Modelo TS 1221 (Figura 2.7), usa un sistema similar al pluviógrafo de oscilación, registra en memoria las precipitaciones detectadas en los canalones. La lluvia es colectada por una boca y conducida por medio de un embudo al receptor interno que descarga sobre un compartimiento del canalón. Al volcar, un contacto magnético (reedSwitch) sin vinculación mecánica con el canalón, se emite una señal digital. Esta señal digital se envía al registrador TS 1300 que se halla ubicado debajo de la plataforma que soporta lo canalones, posee además una pantalla y un teclado, lo que posibilita que el operador programe el equipo, y visualice la información [9].



*Figura 2.7 Pluviógrafo Tecmes modelo TS1221.
(Fuente: <http://www.tecmes.com/hidroequipos.htm>)*

Un modelo más completo es el mostrado en la figura 2.8, este sistema usa un data logger¹ con un sistema de oscilación que acciona magnéticamente un interruptor, cuando una

¹Un Data Logger es un dispositivo electrónico que registra mediciones ordenadas en el tiempo, provenientes uno o varios sensores.

determinada cantidad de agua de lluvia se ha acumulado en un lado del canal que oscila. El sistema cuenta con un con medidor de lluvia, registrador de datos, batería, cable RS-232 y software para el uso con un PC, compatible con tarjetas flash y módems GSM [10].



Figura 2.8 Pluviógrafo electrónico Modelo RG-200.
(Fuente: <http://www.pluviograph.com/>).

2.3. INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN.

El registro que se obtiene de un pluviógrafo se llama pluviograma, que dependiendo del tipo de reloj se usa un papel de registro diario, semanal o mensual. Las diarias se usan más en periodos o zonas lluviosas, la semanal en lugares donde la lluvia no es diaria y las mensuales en periodos de estación seca o verano [11]. En la figura 2.9 se muestra dos tipos de papel que se obtienen de un pluviógrafo de flotador con sifón automático, los descensos (vaciados) ocurren cuando se ha llenado el recipiente, esto es, cuando se ha alcanzado 10mm de precipitación, desalojando el agua contenida en el recipiente a través del ducto de drenaje, gracias al efecto sifón [4].

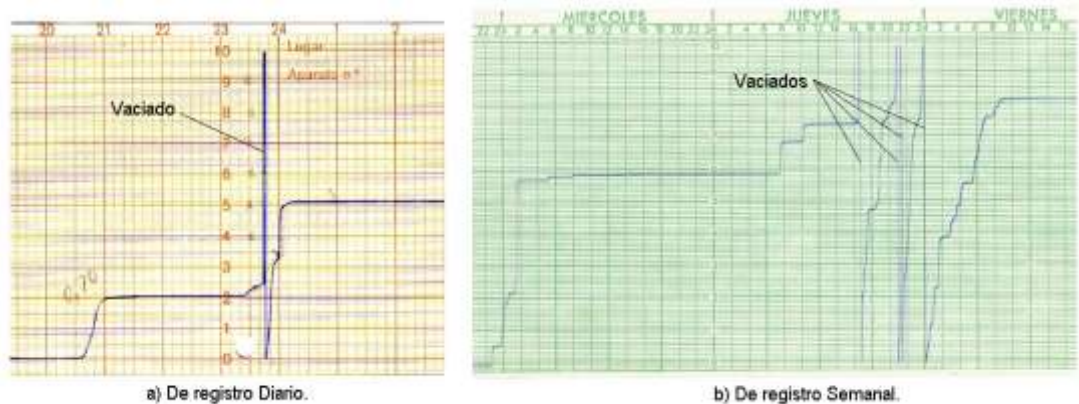


Figura 2.9 Pluviogramas.

(Fuente: <http://www.meteored.com/ram/2256/estudio-climatolgico-de-las-precipitaciones-en-la-estacin-de-santander-ojaiz/>).

La interpretación de la información de un pluviograma, permite determinar la pluviosidad total que afecta la zona para el rango de tiempo en estudio, además de obtener la información asociada a cada lluvia como es su cantidad de agua (pluviosidad), duración e intensidad. Para presentar la información del acumulado diario de 24 horas se efectúa la medida entre 7:00 am HLC (Hora Local Colombiana), del día anterior y las 7:00 am del día siguiente, de acuerdo con una norma internacional de la OMM (Organización

Meteorológica Mundial) con el fin de tener resultados comparables dentro del marco global [12] y [13].

Si a un pluviograma se le quitan los descensos (vaciados), y se realiza una nueva gráfica en que los valores después de los descensos son trasladados al punto máximo anterior, se obtiene una gráfica que representa la precipitación acumulada contra el tiempo llamada *curva masa de precipitación* (Figura 2.10).

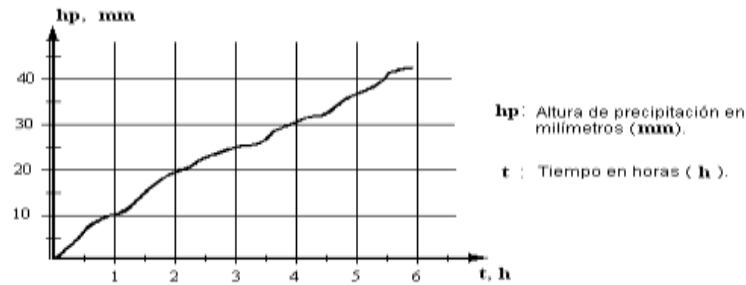


Figura 2.10 Curva masa de precipitación.

La curva masa representa en forma continua y creciente la cantidad de agua que cae para una lluvia en particular, indicando la cantidad total de precipitación. La precipitación puede ser de los siguientes tipos [14].

Llovizna: Precipitación casi uniforme que está compuesta exclusivamente de pequeñas gotas de agua, con un diámetro menor de 0.5 mm y muy cerca unas de otras.

Lluvia: Precipitación de partículas de agua líquida en forma de gotas de diámetro mayor a 0.5 mm. También pueden ser más pequeñas, pero muy dispersas.

Chubasco o aguacero: Precipitación, frecuentemente fuerte y de corta vida, las gotas o partículas sólidas en los aguaceros son usualmente mayores a 0.5 mm de diámetro. Los aguaceros se caracterizan por su inicio y finalización repentina, generalmente por grandes y rápidos cambios de intensidad.

Nieve: Precipitación de cristales de hielo, en su mayoría ramificadas y a veces en forma de estrella.

Granizo: Precipitación de pequeños glóbulos o trozos de hielo (pedrisco) con diámetros entre 5 y 50 mm o algunas veces más, y que caen separados o agrupados irregularmente. Para el caso de granizo y nieve se utiliza otro tipo de instrumento.

La descripción valorativa de la precipitación para las lluvias o aguaceros, se hace en general, en función de la intensidad medida en milímetros durante 1 hora (mm/h). Puesto que hay varios tipos de precipitación, se establecen distintas valoraciones para la intensidad según la clase de precipitación (Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Descripción de la intensidad para las lluvias.

Intensidad	Acumulado en 1 hora.
Débil	≤ 2 mm/h
Moderada	> 2 mm/h y ≤ 15 mm/h.
Fuerte	> 15 mm/h y ≤ 30 mm/h.
Muy Fuerte	> 30 mm/h y ≤ 60 mm/h.
Intensas	> 60 mm/h.

Como la precipitación se distribuye respecto al tiempo de manera no uniforme, a partir de una curva de masa de precipitación es posible dibujar diagramas de barras que representan las magnitudes de la precipitación acumulada o intensidad en intervalos de tiempo seleccionados. Estos diagramas de barras se llaman *Hietogramas* [4].

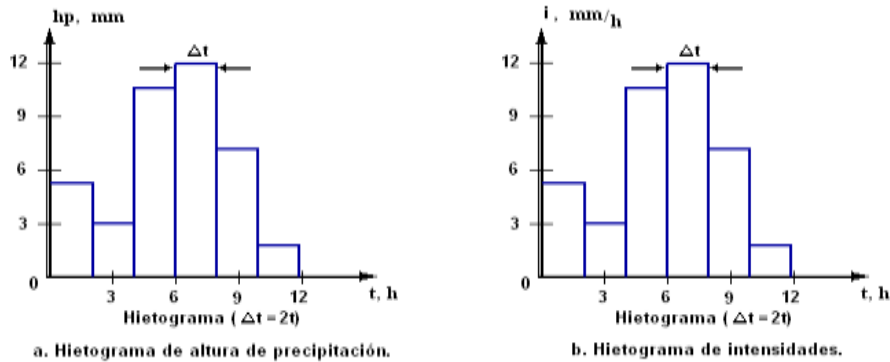


Figura 2.11 Hietogramas.

El hietograma de la figura 2.12 (a), se construye dividiendo el tiempo que duró la tormenta en n intervalos que pueden ser iguales o no y midiendo la altura de precipitación que se tuvo en cada uno de ellos. El hietograma de la figura 2.12 (b), se puede obtener a partir de la figura (a) dividiendo la altura de precipitación de cada barra entre el tiempo Δt que dura la misma. Ambos tipos de hietogramas son equivalentes, pero uno puede ser más útil que el otro dependiendo del tipo de análisis. El intervalo Δt seleccionado es importante en cuanto a la información que proporciona el hietograma; un valor de Δt demasiado grande arrojaría muy poca información y un Δt muy pequeño daría mucha información y difícil de manejar.

Los hietogramas desempeñan un papel muy importante en el diseño y revisión de las estructuras hidráulicas de una cuenca hidrológica. En el caso específico de las zonas urbanas, una de las aplicaciones de los hietogramas, está enfocada hacia el diseño de las redes de alcantarillado pluvial, debido a que los escurrimientos² generados en este tipo de áreas se incrementan por el grado de urbanización y en consecuencia es más preciso utilizar los datos de lluvia para el diseño del alcantarillado, de esta manera establecer condiciones de capacidad en los colectores³, teniendo en cuenta que los datos de los pluviogramas provengan de una fuente confiable de información debido a que estos registros requieren de monitoreo constante, ya que es muy frecuente encontrar registros defectuosos o alterados [11].

En los pluviógrafos existen muchos factores que pueden afectar de manera importante el resultado de la información de los registros en los sistemas convencionales y en ocasiones es posible recuperar los datos de un registro defectuoso y otras veces no, dependiendo del tipo de falla. En la figura 2.12 se muestran las fallas más comunes que se observan en los registros [4].

²El escurrimiento es la parte de la precipitación que aparece en las corrientes fluviales superficiales, perennes, intermitentes o efímeras, y que regresa al mar o a los cuerpos de agua interiores. Dicho de otra forma es el deslizamiento del agua, que no ha sido afectado por obras artificiales hechas por el hombre.

³Se denomina colector o alcantarilla, colectora al tramo de tubería que colecta diversos ramales de una red de alcantarillado público.

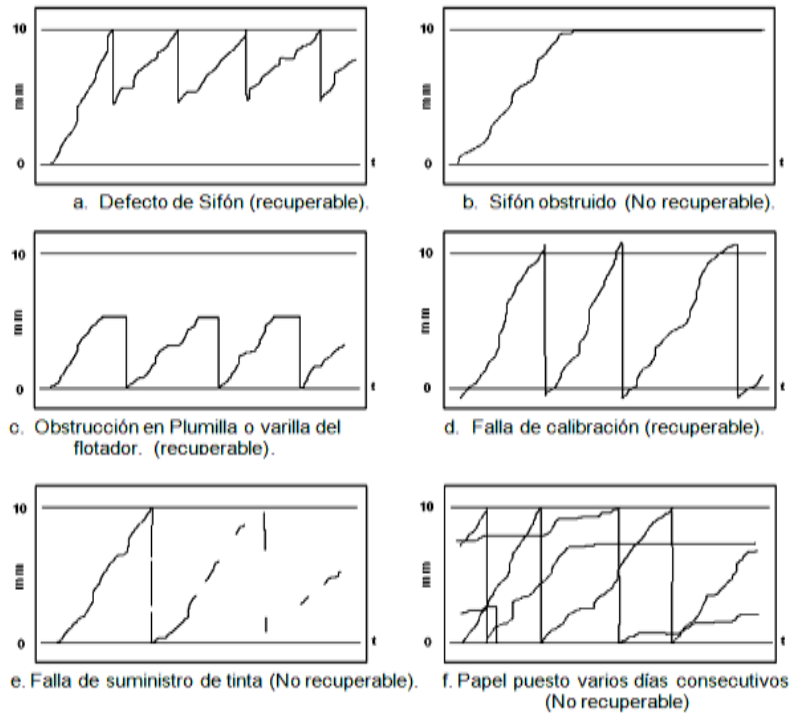


Figura 2.12 Fallas comunes en los registros de los pluviógrafos.

A continuación se presentan algunos factores observados en el transcurso del desarrollo del proyecto, que generan defectos en el registro del Pluviógrafo Hellman de Sifón Automático.

Marcación de la Plumilla: En la figura 2.13, se observa el tipo de plumilla que posee el pluviógrafo en estudio, la cual deja al descubierto la tinta y que en ocasiones se evapora rápidamente. Además de la evaporación de la tinta, el registro puede verse afectado cuando la tinta no fluye de manera adecuada, se riega, o cuando la plumilla no está calibrada para realizar el recorrido desde 0 mm hasta 10 mm. El problema de tinta está relacionado a la falla más común en estos instrumentos, estableciendo la necesidad de un monitoreo frecuente del instrumento.

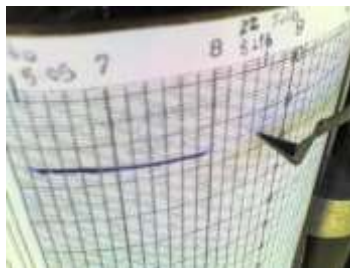


Figura 2.13 Falla de tinta en el registro.

Otro detalle que afecta el registro debido al sistema de la plumilla, se debe al grado de ajuste de la posición de la plumilla en contacto con el papel, esto quiere decir que si la plumilla queda muy ajustada contra el papel, el movimiento del flotador se ve afectado y por consiguiente la medida, debido a que se ejerce una fuerza de fricción que frena el movimiento y hace que el drenaje o descenso se realice antes de los esperado.

Papel de pluviógrafo: Es muy importante utilizar el tipo de papel adecuado para el registro, puesto que las marcaciones de los milímetros (escala) varían de acuerdo al tamaño del depósito de agua donde se aloja el flotador, el rango de movimiento del flotador y el tipo de reloj. La escala del eje "Y" en este tipo de papel representa valores en milímetros que van desde el valor 0, hasta el valor 10.2, lo que no hace efectivo el valor comparado en milímetros del papel y el medido por una regla. Por otra parte la característica física del papel lo hace especial ya que no permite una absorción de exceso de tinta.

La escala en el eje "X" determina si el registro es diario, semanal o mensual, por consiguiente se hace uso del tipo de papel según el sistema de relojería, en conclusión por el tipo de pluviógrafo. Y por último, un adecuado posicionamiento del papel en el tambor giratorio, permite obtener un buen registro, ya que se ha observado que la línea vertical que traza la plumilla en ocasiones queda con un grado de inclinación respecto a las líneas verticales de la cuadrícula del papel.

Sistema de Relojería: Este elemento es de vital importancia debido a que posee piezas muy finas que son vulnerables a desgastes por el funcionamiento o deterioros por las variaciones climatológicas. En la figura 2.14, se observa el primer problema encontrado en el desarrollo de este trabajo, y que en algunas veces este problema determina de forma radical el remplazo del sistema de relojería. En esta ocasión el sistema fue reparado mediante el cambio de dos piezas, una llamada Balancín y la otra llamada Ancla.



Figura 2.14 Óxido en partes del sistema de Relojería.

Monitorear constantemente la estación pluviográfica permite estar informado de las condiciones de funcionamiento del reloj y así determinar las necesidades de lubricación de sus piezas móviles, limpieza interna o cambio de partes. Además de la necesidad de realizar la carga del impulso al sistema de cuerda del reloj, ya que los registros se ven afectados en su escala temporal cuando el impulso pierde su fuerza.

También el sistema de relojería determina el grado de apreciación del pluviograma representado en el eje "X", ya que de acuerdo al tipo de reloj, el registro es de tipo diario, semanal o mensual.

Obstrucciones en los ductos de Agua: En ocasiones se encuentran hojas, plumas de aves, insectos, o basura que bloquea el ducto del embudo, o pasan a través del embudo pero comienzan a depositarse en el fondo del depósito de agua donde se aloja el flotador, y que posteriormente bloquean el ducto de drenaje, y de esta forma se generan alteraciones significativas en los registros.

Manguera de Drenaje: El pluviógrafo Tipo Hellman de sifón automático, posee un ducto en un costado del depósito de agua donde se aloja el flotador, este ducto es usado para realizar el drenaje del agua colectada. Una manguera se conecta a este ducto para que guíe el agua al tanque totalizador, pero la instalación de esta manguera establece una variación de la altura a la cual se produce el drenaje (sifón), y por consiguiente varíe la altura máxima que se registra sobre el papel, por lo tanto se debe calibrar tanto la plumilla como la manguera de drenaje para que el gráfico inicie desde la posición 0 mm hasta la posición 10 mm del papel. Con unas marcas en la guía base del reloj como indica la figura 2.15, se calibra el punto máximo en que ocurre el drenaje.



Figura 2.15 Manguera de drenaje.

Otras: No muy frecuentes, son las filtraciones de agua debidas a fallas en la estructura del pluviógrafo, por ejemplo, pequeños agujeros que dejan pasar gotas de agua al interior del instrumento, y que en ocasiones pueden deteriorar el sistema de relojería con la aparición de óxido en sus partes. También puede ocurrir que las filtraciones lleguen al papel de manera que dañe los datos.

3. DISEÑO DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO ADAPTABLE A UN PLUVIÓGRAFO TIPO HELLMAN.

La importancia de implementar un diseño electrónico que pueda ser adaptado a un pluviógrafo tipo Hellman de sifón automático, radica en que este pueda cumplir con las condiciones de funcionamiento como: exhaustivas horas de trabajo, procesos de comunicación auto configurables, disponibilidad de elementos electrónicos, costos, consumo de energía, resistencia a condiciones de deterioro, y otras, las cuales permiten determinar las características básicas que el circuito debe poseer a fin de obtener datos confiables en los registros que serán procesados por el software de control que se aloja en la estación de monitoreo.

Una de las características principales del circuito electrónico es permitir una conexión con los dispositivos de comunicación inalámbrica, los cuales que cumplen los estándares IEEE 802.11⁴ relacionados a redes inalámbricas de área local, que son compatibles con todos los servicios de las redes de área local (LAN), bajo las diferentes versiones del estándar IEEE 802.3⁵. De acuerdo a estos estándares el circuito electrónico se compone de elementos electrónicos que operen en compatibilidad con este tipo de redes, de esta forma es posible establecer la comunicación entre el circuito electrónico y la estación remota de monitoreo.

En la figura 3.1 se presenta el diagrama de bloques del circuito, con una estructura funcional que hace posible el acople del sistema mecánico del pluviógrafo tipo Hellman al sistema del pluviógrafo electrónico.

3.1. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CIRCUITO.

El funcionamiento del circuito depende de la interacción de sus componentes, constituido por un micro controlador (PIC18f452), que ejerce funciones de control y hace posible el manejo coordinado con los otros elementos, también tiene un circuito integrado (RTL8019as), que establece el funcionamiento para la comunicación hacia las redes Ethernet, además se usa un sensor para indicar movimiento en el pluviógrafo, una memoria EEPROM (24lc256), para almacenar datos de configuración, una pantalla LCD de dos líneas para visualizar datos de configuración, un circuito integrado que es utilizado para establecer un conexión del PIC hacia un computador mediante el puerto serial para efectos de cambios en la configuración de funcionamiento del circuito en general. El conjunto de todos estos elementos se llamará en el transcurso del documento como el circuito electrónico adaptable al pluviógrafo tipo Hellman, y que se presenta en la figura 3.1 como el diagrama de bloques del circuito.

⁴El estándar IEEE 802.11 define el uso de los dos niveles inferiores de la arquitectura OSI (capas física y de enlace de datos), especificando sus normas de funcionamiento en una red inalámbrica de área local (WLAN). Los protocolos de la rama 802.x definen la tecnología de redes de área local (LAN) y redes de área metropolitana (MAN).

⁵El estándar IEEE 802.3 como primera versión fue un intento de estandarizar las redes Ethernet, posteriormente se crearon diferencias como las ampliaciones de velocidad, tipos de medios, entre otras. Usualmente se toman Ethernet e IEEE 802.3 como sinónimos. Ambas se diferencian en uno de los campos de la trama de datos. Las tramas Ethernet e IEEE 802.3 pueden coexistir en la misma red.

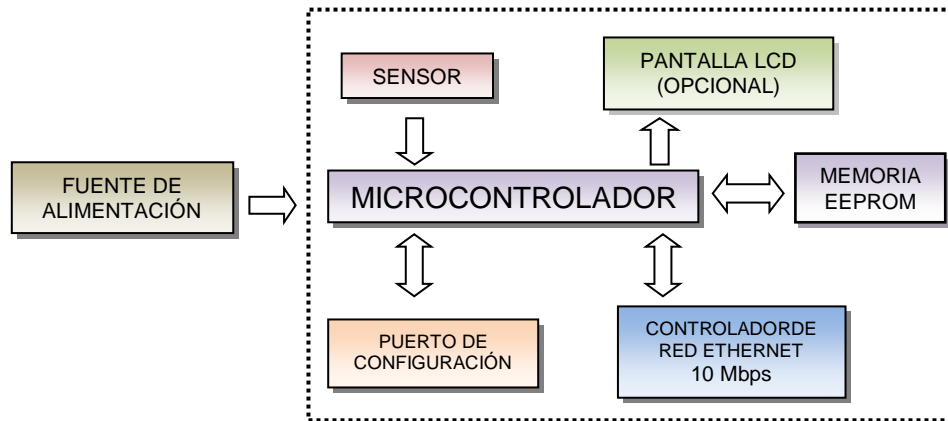


Figura 3.1 Diagrama de Bloques del Circuito.

A continuación se describe la funcionalidad y características que cumple cada bloque del circuito.

3.1.1. BLOQUE MICROCONTROLADOR.

El circuito integrado programable (pic18f452), de gama alta de la familia 18F, el cual cuenta con las siguientes características [15].

- Arquitectura RISC (*Reduced Instruction Set Computer*), instrucciones para ejecución rápida.
- Reloj que puede trabajar por encima de 10 MIPs (*Million Instructions Per second*).
 - Cristales de 4 MHz a 40 MHz.
- Optimizado para compilación desde lenguaje C.
- Número de instrucciones: 16384.
- Memoria Flash de 32 Kbytes.
- RAM (incluida) de 1536 bytes.
- Datos EEPROM 256 bytes.
- Posee 5 puertos I/O, de 8 bits, menos el puerto A que sólo tiene 7 bits.
- Compatibilidad A/D de 10 bits.
- Tres pines para manejo de interrupciones externas.
- Manejo de corriente con niveles de 25 mA.
- Módulo de comunicación serial con soporte para RS-485 y RS-232.

Se hace uso del puerto A en configuración de entrada analógica, para el manejo de la señal proveniente del sensor. Este modo de configuración ADC (Conversión Analógica a Digital), posee una resolución de 10bit, para lo cual es necesario asignar ciertos valores a un par de registros del PIC.

ADCON0: controla la operación del módulo A/D.

ADCON1: configuración de las funciones de los pines de los puertos del A/D (analógicos o digitales, uso o no de voltaje de referencia externo).

Para el caso de la resolución del ADC, se usa la siguiente fórmula:

$$ADC_{Res} = \frac{V_{Ref}}{2^{Num\ Bits}} \quad (3.1)$$

Trabajando con el ADC de 10 bits, se tiene la siguiente resolución:

$$ADC_{Res} = \frac{5V}{2^{10}} = 0.0048828125V = 4.88mV. \quad (3.2)$$

Es decir, irá de 0 V a 5 V con pasos de 4.88 mV, indicando desde el valor "0" (0 voltios) hasta "1024" (5 voltios), que serán los valores entregados por el sensor. Estos valores son capturados por la estación remota de monitoreo y procesados a fin de obtener las medidas correspondientes a los valores en milímetros de la pluviosidad registrada por el instrumento.

Para establecer la comunicación del microcontrolador y el controlador de red Ethernet (driver de red RTL8019as), se utilizaron los puertos B, D y E. El microcontrolador se programa con las rutinas necesarias para el manejo del driver y el manejo de los protocolos TCP/IP. Es posible hacer uso de otros circuitos controladores de red que permiten interacción con el microcontrolador, pero es necesario tener el código fuente del controlador, que en ocasiones es difícil de obtener.

El puerto C, permite controlar los procesos de configuración que se llevan a cabo en la memoria externa EEPROM, algunos parámetros de configuración del microcontrolador se almacenan en esta memoria. Este puerto también permite establecer una comunicación tipo serial hacia un computador, que permite configurar los cambios de los parámetros que se almacenan en la memoria.

El puerto B y D, se usa para la conexión de una pantalla LCD que es opcional en la implementación del diseño.

El código fuente programado en el microcontroladores, se basa en el uso de la pila del protocolo TCP/IP de la empresa Microchip, presentando ventajas en cuanto al uso de circuitos integrados con las capacidades necesarias para establecer una interconexión a las redes Ethernet. La pila o también llamada *Stack TCP/IP* de microchip, presenta un conjunto de funciones compatibles con los protocolos HTTP, FTP, DHCP, TCP/IP entre otros. Ejemplos de configuración, diseño y código fuente que se puede adquirir en la página de microchip [16]. Las funciones necesarias para el manejo de las instrucciones del *Stack TCP/IP*, se indican a continuación.

La pila o *Stack* está escrita en lenguaje de programación C, dirigido a compiladores C18 y HI-TECH PICC-18 C. Además está diseñado para la ejecución en microcontroladores de la familia PIC18. El modelo de la pila TCP/IP de microchip sigue el modelo de referencia TCP/IP. En la figura 3.2, muestra la comparación entre los dos modelos.

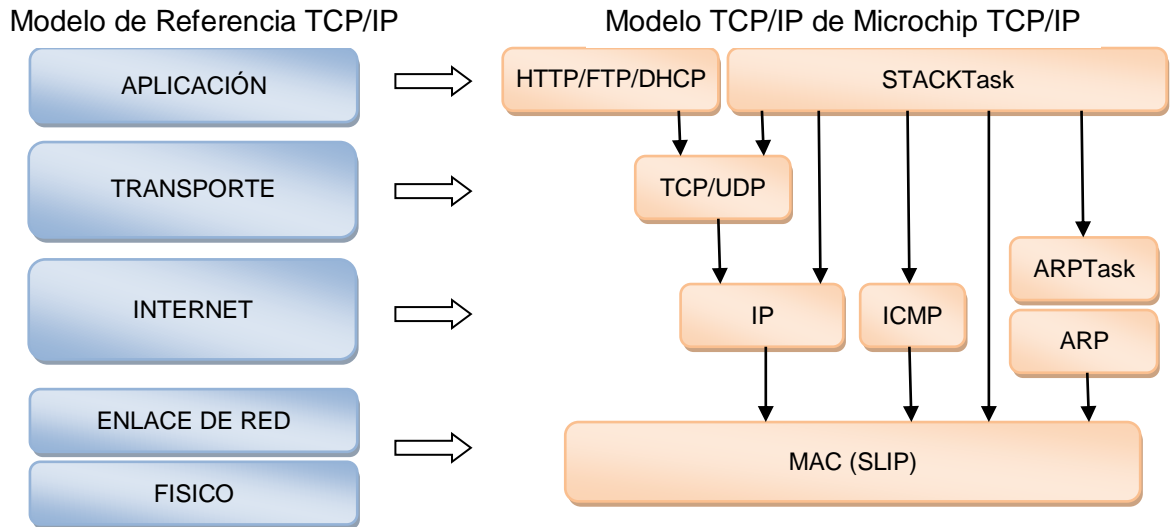


Figura 3.2 Comparación Pila TCP/IP de Microchip y Modelo de Referencia TCP/IP.
(Fuente: <http://www.microchip.com/>).

De manera similar que el modelo de referencia TCP/IP, el modelo TCP/IP de microchip divide la pila en múltiples capas, y el código de la aplicación de cada capa se encuentra en un archivo de código fuente por separado. Además en la pila se adicionan dos nuevos módulos: "StackTask" y "ARPTask". El módulo StackTask gestiona las operaciones de la pila y todos sus módulos, mientras que ARPTask gestiona los servicios del Protocolo de Resolución de Direcciones (ARP) [16].

El *Stack TCP/IP* de microchip se compone de varios módulos que controlan los procesos de las aplicaciones e interfaces que se implementan en el circuito electrónico. Los módulos usados se describen a continuación, con los cuales es posible identificar y controlar los procesos del circuito electrónico en la red, mediante la asignación de una direcciones IP, una máscara de subred, puerta de enlace, dirección MAC, y otras, de acuerdo a las especificaciones RFC (Request For Comments), para cada protocolo de comunicación, además se indican los archivos donde se implementan las funciones.

- **MÓDULO CONTROL DE ACCESO AL MEDIO (MAC):** este módulo permite controlar la capa física de Ethernet relacionada a la capa Mac del *Stack*. Se basa en el mecanismo de control de acceso al medio de transmisión, que para la instalación circuito electrónico adaptado al pluviógrafo usa un cable UTP categoría 5e conectado a un AccessPoint.
- **MÓDULO PROTOCOLO INTERNET (IP):** la especificación IP, de acuerdo al RFC 791 [17], requiere que el host local genere un identificador único para cada paquete de transmisión. El identificador de host remoto permite identificar paquetes duplicados para descartarlos. Estas características son implementadas en el código fuente IP.c e IP.h, donde IP.h, define los servicios prestados por la capa. Este módulo es necesario para el caso en que el circuito electrónico sea conectado a la red internet y monitoreado por el equipo remoto también conectado a la red internet.
- **MÓDULO PROTOCOLO DE MENSAJES DE CONTROL INTERNET (ICMP):** este protocolo comúnmente se usa para enviar mensajes de error, indicando por ejemplo si

un servicio determinado no está disponible o que un Router o Host no puede ser localizado (RFC 792) [18]. Cuando se activa, ICMP puede responder a paquetes "ping", de hasta 32 bytes y para paquetes más grandes se modifica el parámetro de longitud del paquete ICMP en el archivo StackTsk.h.

- **MÓDULO PROTOCOLO DE CONTROL DE TRANSMISIÓN (TCP):** el propósito principal de TCP consiste en proporcionar un servicio de conexión o circuito lógico fiable y seguro entre pares de procesos (transmisión y recepción) [19]. La capa TCP del *Stack TCP/IP* de Microchip se implementa por el archivo "TCP.c", y el encabezado del archivo "tcp.h" que define los servicios prestados por la capa, que son servicios de socket⁶TCP. La capa permite 2 a 253 socket TCP y cada socket consume aproximadamente 36 bytes de memoria y también genera aumentos en el tiempo de procesamiento TCP.
- **MÓDULO PROTOCOLO DE DATAGRAMAS DE USUARIO (UDP):** el protocolo es orientado a la conexión, y tanto la entrega como la protección ante duplicados no se garantizan [20]. UDP es implementado en "UDP.c" y la cabecera "UDP.h", este último define los servicios prestados por la capa. La capa permite hasta 254 sockets UDP. Cada socket consume aproximadamente 19 bytes.
- **MÓDULO PROTOCOLO DE CONFIGURACIÓN DINÁMICA HOST (DHCP):** una de sus características es de configurar direcciones IP, puerta de enlace y máscara de subred. DHCP se utiliza para transmitir la dirección asignada al cliente [21]. La capa DHCP del *Stack* se implementa en "DHCP.c", y "DHCP.h" define los servicios prestados por la capa. Esta opción se activa en el circuito electrónico para obtener las direcciones de red que suministra el dispositivo de transmisión inalámbrica utilizado (Access Point o Router).
- **MÓDULO SERVIDOR HTTP:** el servidor HTTP del *Stack* no implementa todas las funciones de HTTP, teniendo en cuenta que el protocolo de transferencia Hypertexto (HTTP), denominado "HTTP/1.1", es un protocolo de nivel de aplicación para sistemas distribuidos. [22]. Este módulo es utilizado para ingresar a la configuración del circuito mediante un navegador de Internet, utilizando la dirección IP asignada al circuito.

El servidor HTTP incorpora estas características principales:

- Soporta múltiples conexiones HTTP.
- Compatible con las páginas web ubicadas ya sea en la memoria de programa interna o serial externa EEPROM.
- Compatible con el método HTTP "GET"
- Compatible con una modificada "Interface de pasarela común", (Common Gateway Interface, CGI) para invocar funciones predefinidas desde el navegador a distancia.
- Contiene un sistema simple de archivos (MPFS), que permite crear un archivo binario que representa una imagen de un conjunto de archivos.

⁶Según el RFC793, el socket o también denominado dirección de conector permite que muchos procesos dentro de un único "host" utilicen simultáneamente las posibilidades de comunicación de TCP, el módulo de TCP proporciona una serie de direcciones o puertos dentro de cada "host" y una vez concatenadas con las direcciones de red, este par de direcciones de conector (dirección IP, puerto), identifican de forma única la conexión.

- **MÓDULO SERVIDOR FTP:** el servidor de FTP del *Stack* no implementa todas las funciones especificadas en el RFC959 [23].

Se utilizan las siguientes características el Servidor FTP:

- Una conexión FTP, autenticada por el usuario.
- Interacción con el sistema de archivos (MPFS).
- Programación a distancia de la imagen MPFS a la memoria EEPROM mediante un comando.
- No hay carga de archivos individuales o recuperación de archivos.
- Permite sólo una conexión FTP a la vez.

Cada conexión FTP requiere de dos sockets TCP, y utiliza un valor predeterminado de tiempo de espera de 180 segundos para la carga y descarga de una imagen. Si una conexión FTP remota permanece inactiva más de 180 segundos, se desconecta automáticamente.

3.1.2. BLOQUE PANTALLA LCD.

Opcionalmente se puede utilizar una pantalla LCD 2x16, que permite visualizar la dirección IP de configuración, esta dirección se muestra en la segunda línea de la pantalla. Para la configuración inicial es importante el uso de la pantalla para efectos de información de la dirección IP que toma el circuito. Además es posible visualizar líneas de texto que pueden ser enviadas desde la estación remota de monitoreo, en caso de ser necesario alguna información al operario del instrumento en algún caso de presentarse un mantenimiento. La figura 3.3 indica el esquema de conexión de la pantalla.

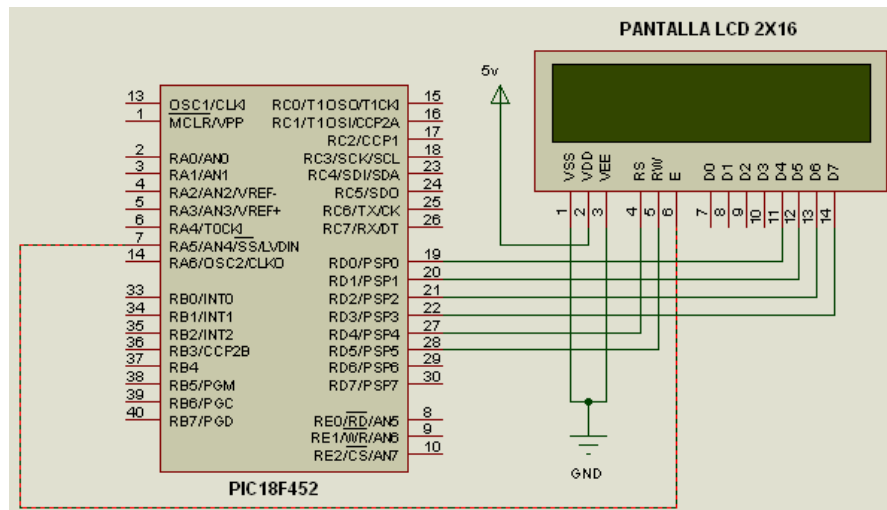


Figura 3.3 Diagrama Esquemático PIC-Pantalla LCD.

3.1.3. CONTROLADOR DE RED.

Como controlador de interface de red (NIC), se usa el circuito RTL8019as de la empresa Realtek, cuyas características principales se indican a continuación (Figura 3.4) [24]:

- Controlador de Ethernet Full-Duplex con función Plug and Play.
- 16K byte SRAM.
- Compatible con IEEE802.3 10Base5, 10Base2, 10BaseT.

- Soporta tres modos de consumo de energía.
- Soporta auto corrección de polaridad para 10BaseT.
- Otras.



Figura 3.4 Tarjeta de Red ISA.

Se puede encontrar este microcontrolador en tarjetas de red tipo ISA (Industry Standard Architecture), en Routers ADSL, cable módems, impresoras de red, y otros. Una ventaja importante del circuito electrónico, mediante el uso de este controlador de red, es poder realizar el cambio de la tarjeta controladora en caso de existir algún problema de funcionamiento, gracias a que el circuito posee el conector necesario para el ensamble de este tipo de tarjetas. El tipo de conexión usada es 10BaseT, indicando 10 Mbps sobre el medio de transmisión de cable UTP categoría 5e de par trenzado, configurado como cable directo de acuerdo a las normas establecidas para la configuración del cableado estructurado, (norma TIA-568A⁷ en los extremos del cable, o norma TIA-568B en los extremos del cable).

La figura 3.5 indica la conexión entre el PIC18F452 y el circuito controlador de red RTL8019as, y la figura 3.6, indica la conexión de los elementos que son necesarios para el funcionamiento del puerto para establecer una interfaz de conexión a las redes Ethernet de 10 Mbps, de esta forma es posible obtener la información del sensor del pluviógrafo a través de la red. Las figuras se presentan por separado para presentar de forma clara la interacción del PIC18F452 con el driver RTL8019AS y la conexión que contiene la tarjeta para la interfaz de red.

⁷El cableado estructurado para redes de computadores tiene dos tipos de Norma, la EIA/TIA-568A (T568A) y la EIA/TIA-568B (T568B). Se diferencian por el orden de los colores de los pares a seguir en el armado de los conectores RJ45, sobre cables de par trenzado balanceado de 100 ohm para ocho conductores.

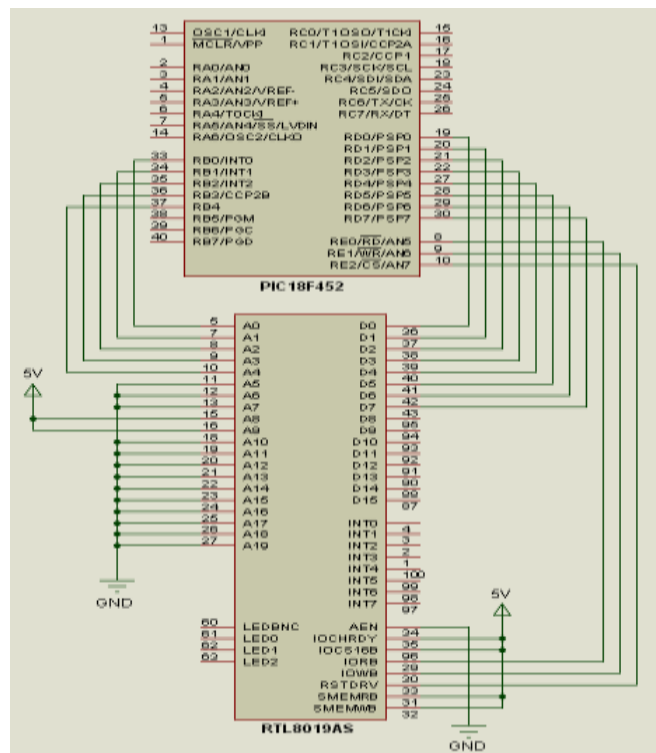


Figura 3.5 Diagrama esquemático PIC – RTL8019as.

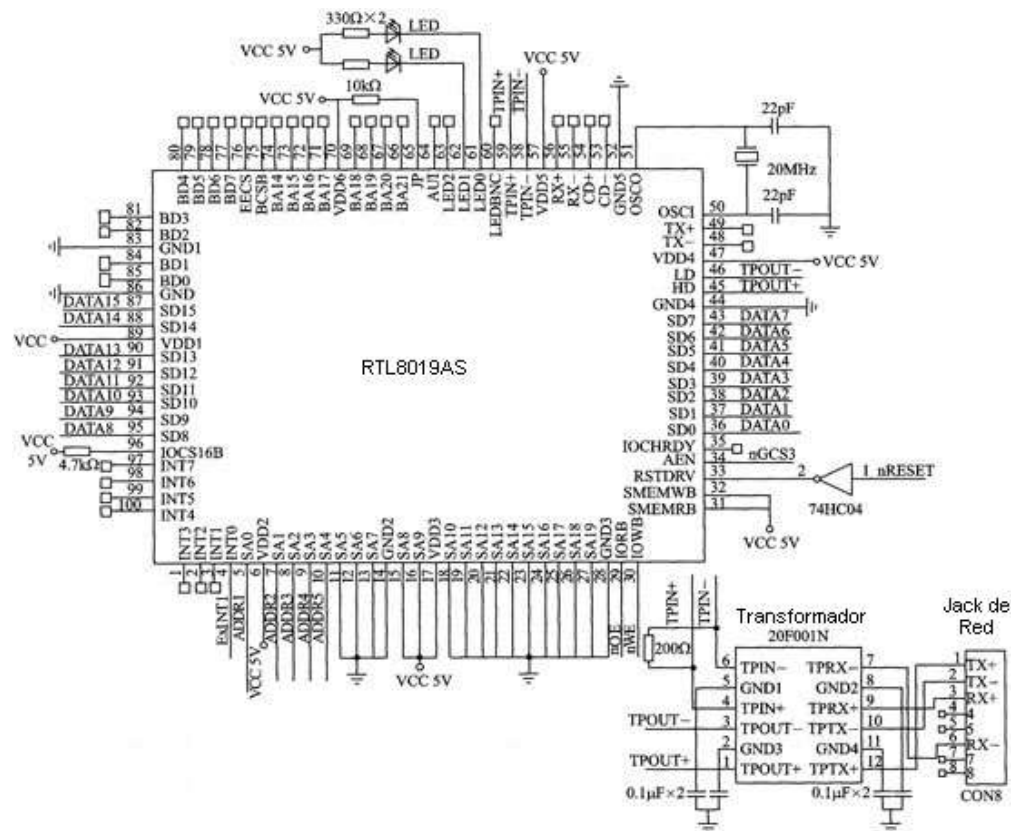


Figura 3.6 Conexión del Jack de Red.

3.1.4. MEMORIA EEPROM.

En el diseño del circuito electrónico se hace uso del circuito integrado 24LC256, con una capacidad de 256 Kbit (32K x 8 bytes). En [25], se describen otras características. Esta memoria hace posible almacenar los parámetros de configuración del circuito electrónico y también alojar archivos tipo binario codificado con extensión “.bin”. Este archivo a especie de imagen contiene información de archivos CGI (Common Gateway Interface), y archivos HTML. Este archivo de extensión “.bin”, se programa en la memoria y hace posible visualizar una página web con información acerca de la estación pluviográfica y la actividad del sensor. Mediante el sistema MPFS (Microchip File System), es posible crear el archivo binario de la página web que se programa en la memoria, siguiendo un formato especial para almacenar múltiples tipos de archivos.

Hay tres opciones para la programación de la memoria EEPROM externa:

1. Mediante el programador hardware y software de PIC’s que soporte el dispositivo 24LC256 para programar la imagen MPFS.
2. Desde un computador a través de la conexión por puerto serie.
3. Desde el módulo de servidor FTP a través de la red.

Es muy importante asegurarse de que ninguno de los nombres de los archivos de páginas web contengan caracteres especiales como " , < , > , # , % , [, { , y otros. Si un archivo contiene alguno de estos caracteres, la página web correspondiente será inaccesible. El módulo servidor HTTP implementado en el *Stack*, utiliza el archivo "index.htm" como su página Web por defecto. Si un cliente remoto accede al circuito electrónico haciendo uso de un navegador de páginas Web, mediante la dirección IP o nombre de dominio único, se inicia la carga de la información de la página "index.htm". En la sección de anexos, se describen las opciones de configuración.

El esquema mostrado en la figura 3.7, indica las características de instalación de los elementos que intervienen para este bloque.

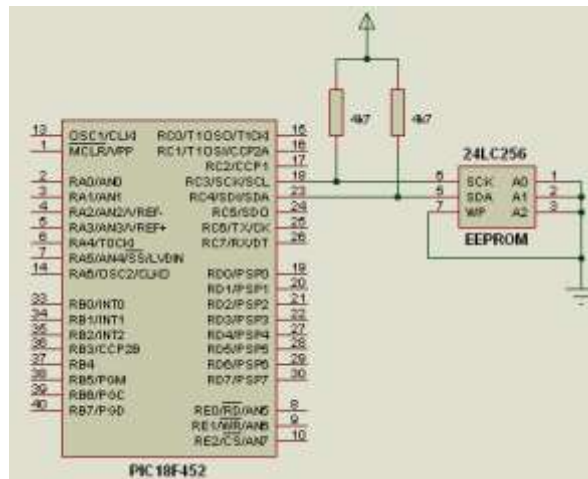


Figura 3.7 Diagrama esquemático PIC – Memoria EEPROM 24lc 256.

3.1.5. SENSOR.

Es importante tener en cuenta los valores de exactitud y resolución de las mediciones recomendadas por estándares internacionales. En [26], indica que la exactitud de la variable de precipitación es $\pm 10\%$ del observado o ± 0.5 mm, y la resolución de la

medición es 0.3 mm. Para el diseño se evaluaron dos elementos usados como sensores que se describen a continuación:

Potenciómetro de medidor de combustible: La mayoría de dispositivos medidores de combustible poseen un sistema de resistencia variable acoplada a un flotador, de esta forma el movimiento del flotador de acuerdo al nivel del líquido en un tanque de combustible, permite la variación de la resistencia, indicando de manera efectiva el valor actual del nivel. Estos dispositivos se diferencian unos a otros en su forma, tamaño y característica de medición, pero casi todos con el mismo principio de variación en una resistencia (Figura 3.8). La sección que tiene la resistencia, se acopla al pluviógrafo para efectos de pruebas de este tipo de elemento.

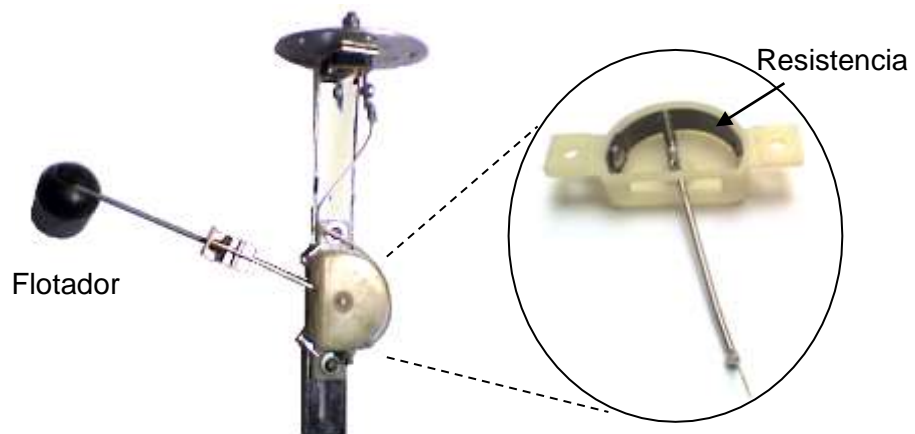


Figura 3.8 Medidor de Combustible.

Potenciómetro Deslizante: Usado comúnmente en las consolas de sonido, este dispositivo posee una resistencia interna que permite un recorrido en línea. Estos potenciómetros (Figura 3.9), se encuentran fácilmente en el mercado con variedad de tamaños, formas y características de resistividad, de esta manera hace posible la adaptación al juego de varillas del pluviógrafo, gracias a que el recorrido del potenciómetro alcanza el rango de movimiento de estas varillas.



Figura 3.9 Potenciómetro Lineal.

En el capítulo 6, (Pruebas y Resultados) se evalúa el funcionamiento de las dos clases de sensores, indicando las características de funcionamiento de cada uno de los elementos.

El diagrama esquemático mostrado en la figura 3.10, indica el pin de conexión para el sensor, adicionalmente se indican las conexiones de los diferentes elementos que hacen parte del circuito electrónico.

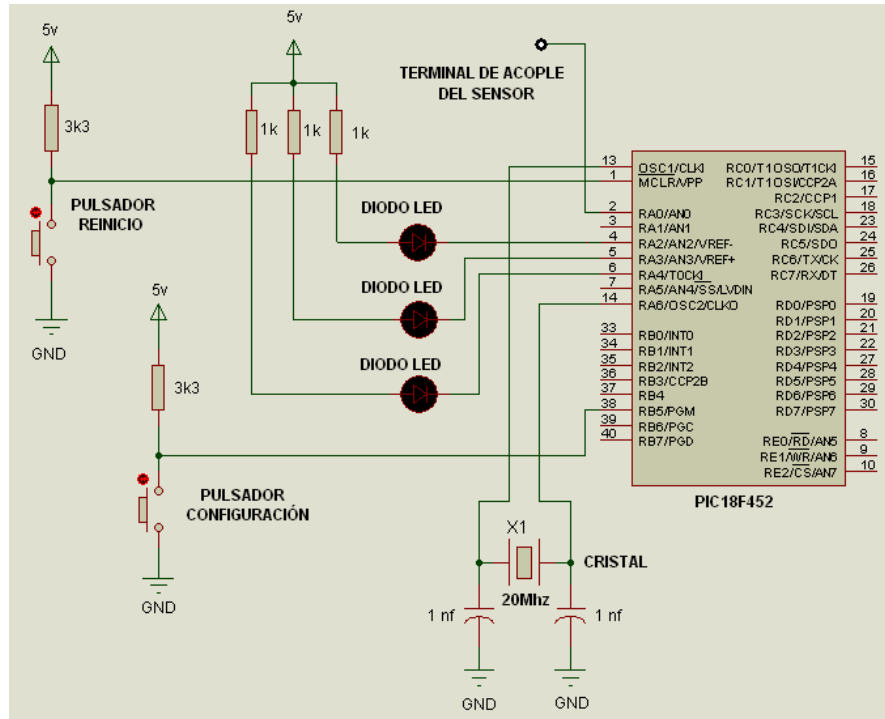


Figura 3.10 Diagrama esquemático de complementos.

3.1.6. PUERTO DE CONFIGURACIÓN.

El puerto para la configuración del circuito electrónico utiliza un integrado de referencia max232, que permite la interfaz de comunicación entre el microcontrolador PIC18F452 y el puerto serial de un computador. La figura 3.11, indica el esquema de conexión para este tipo de comunicación. En la sección de anexos, Manual De Usuario (Configuración del Circuito Electrónico), se describe la configuración de los parámetros como dirección IP, mascara de subred, puerta de enlace predeterminada y activación o desactivación de la función de dirección IP automática (DHCP).

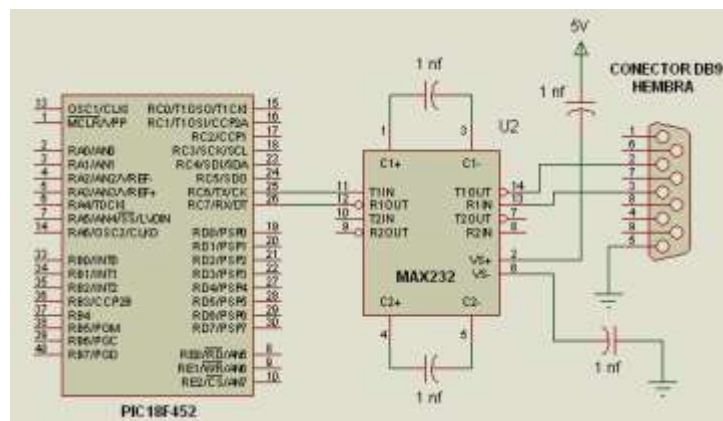


Figura 3.11 Diagrama esquemático PIC – Max232.

3.2. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO TOTAL DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO.

La figura 3.12, presenta la conexión de los elementos que hacen parte del circuito electrónico que se adapta al pluviógrafo, teniendo en cuenta que la tarjeta de red se acopla a un conector que está indicado por los terminales que se muestran en el diagrama.

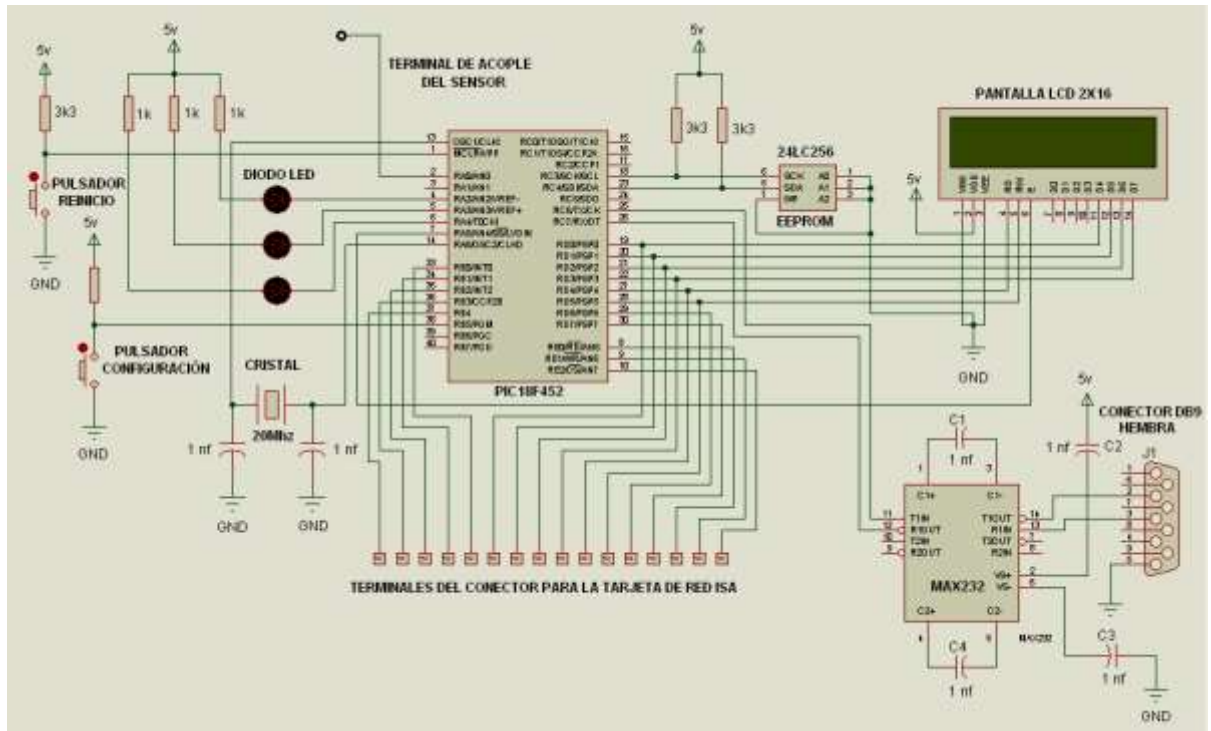
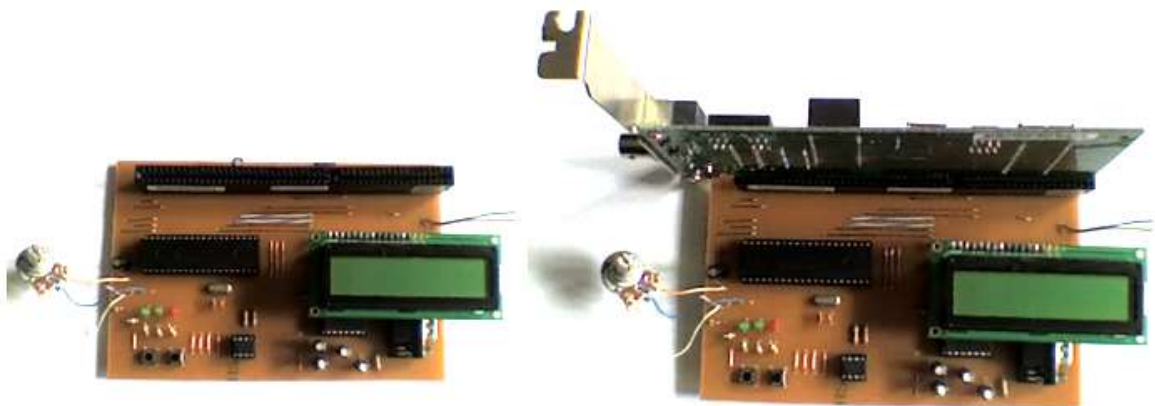


Figura 3.12 Diagrama Esquemático Total del circuito.

La figura 3.13 (a) muestra el circuito electrónico terminado y la figura 3.13 (b), el circuito electrónico con la tarjeta de red ISA que puede ser desmontable.



(a). Circuito Electrónico.

(b). Circuito Electrónico con Tarjeta de Red.

Figura 3.13 Circuito Electrónico.

3.2.2. CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO.

En todo sistema de monitoreo climatológico, un adecuado mantenimiento y calibración del instrumental, sensores y/o equipos es fundamental a la hora de garantizar la calidad de las mediciones efectuadas. En la sección de anexos, se describen los parámetros de calibración del sistema, que establece las condiciones de instalación del circuito electrónico y la puesta a punto del sensor en relación a la calibración que posee el pluviógrafo convencional. El mantenimiento hace referencia al cuidado frente a fallas de los componentes electrónicos para su posterior cambio o reparación, además de los posibles inconvenientes que presenta la sección del pluviógrafo mecánico que se usa, como es el sistema de recolección de agua y flotador, que en ocasiones sufren atascos en sus ductos de agua.

4. TRANSMISIÓN INALÁMBRICA.

Los sistemas de comunicación inalámbricos han evolucionado rápidamente durante los últimos años, es una de las tecnologías más prometedoras debido a la creciente demanda y evolución tecnológica del momento. La integración de datos, audio y video, han sido la fuente principal para su desarrollo, además del incremento de la capacidad de transmisión, la confiabilidad y la cobertura que ofrece una gran cantidad de dispositivos que se encuentran en el mercado, presentando mejoras en cuanto a tamaño y niveles de potencia, siendo atractivos desde el punto de vista económico y funcional [27].

Las características del entorno obtenidas en el área de estudio, establecen condiciones de implementación y funcionamiento del sistema, de las cuales se toman como puntos de referencia para la adecuación de los elementos a instalar. Se observa en la zona de la estación meteorológica que es posible ubicar un dispositivo de transmisión inalámbrica en la parte alta de una torre que tiene aproximadamente 10 metros de altura, esta es usada para la ubicación de un instrumento meteorológico conocido como la estación meteorológica Davis Vantage Pro2 Plus, de esta forma se garantiza que el equipo de transmisión sea ubicado en una zona segura bajo los factores de deterioro que el equipo puede sufrir y con los elementos protectores necesarios. Se observa también, que existe disponibilidad de conexión a la red eléctrica para la alimentación de los dispositivos, una caja de conexión eléctrica se ubica en la base de la torre, esta caja de conexión suministra electricidad a las luces de señalización de la parte alta de la torre, de esta manera se establece un factor importante para el diseño de la transmisión inalámbrica en cuanto a las fuentes de alimentación eléctrica. Otro factor importante para el diseño inalámbrico es la distancia que debe tener el radioenlace, el cual tiene aproximadamente 240 metros, dato suministrado por los ingenieros a cargo de la estación meteorológica, mediante mediciones previas debidas a la implementación de la estación Davis, ya que el punto de ubicación del equipo receptor se encuentra en la proximidad del área de las instalaciones de oficinas de la facultad de ingeniería Civil de la Universidad del Cauca.

De acuerdo a las anteriores características del entorno, se evalúa mediante un análisis teórico, algunas tecnologías inalámbricas, que determinan condiciones para su implementación, las cuales son:

- Tiene que ser robusta y sencilla de usar, ya que el diseño requiere de un funcionamiento continuo los 365 del año.
- Tiene que requerir poco mantenimiento de técnicos especializados, con el fin de minimizar la administración de los equipo inalámbricos y por consiguiente del instrumento pluviográfico.
- Permitir la expansión del sistema frente a la incorporación de nuevos sensores para variables climatológicas en la estación meteorológica.
- Brindar una solución de bajo costo, desde el punto de vista de la implementación y de su funcionamiento.

La tabla 4.1, indica algunas características de tecnologías inalámbricas, información extraída de varias fuentes bibliográficas, entre las más importantes [28], [29], y [30]. De acuerdo a las condiciones de funcionamiento y a las características de la zona de estudio (Estación meteorológica), la tecnología IEEE 802.11 se ajusta a estas condiciones de manera importante en referencia a la distancia del enlace, disponibilidad y costos de los

equipos, facilidades de implementación y expansión del sistema en cuanto a la incorporación de nuevos sensores y/o funciones, por ejemplo una función mantenimiento remoto a un instrumento, además los equipos que operan bajo esta tecnología se consiguen fácilmente en el mercado. Los dispositivos usados en el proyecto funcionan bajo la estándar IEEE802.11b e IEEE802.11g. Otra ventaja al usar esta tecnología es la constante evolución en los equipos, lo que promete mejoras en cuanto a tamaño y alcance de cobertura.

Tabla 4.1 Características de algunas Tecnologías Inalámbricas.

Tipo	Tecnología	Versión	Alcance	Velocidad	Ventajas	Desventajas
PAN	Zigbee	802.15.4	0 a 75 m	250Kbps	Batería de larga duración Equipos de bajo costo. Reducido tamaño.	Corto alcance. Baja velocidad de transmisión. Baja capacidad de información.
PAN	Bluetooth	802.15.1	0 a 10 m	20Kbps a 5.5Mbps	Fácil configuración. Equipo de bajo costo.	Corto alcance. No soporta TCP/IP. Baja velocidad para grandes archivos.
LAN	IEEE802.11	802.11b	0 a 150 m	Max 11Mbps.	Soporta TCP/IP. Alta velocidad. Incremento de alcance con antenas direccionales.	Vulnerable en seguridad.
LAN	IEEE802.11	802.11g	0 a 150 m	Max 54Mbps	Es casi 3 veces más rápida que la norma b. Compatibilidad con la norma b.	Mayor consumo de energía (400 mA).
LAN	IEEE802.11	802.11n	70 a 250 m	Max 300Mbps	Compatible con 802.11.a, 802.11.b y 802.11.g. Grandes distancias con antenas direccionales. Usa estándar MIMO (Múltiple estradas, múltiples salidas)	La velocidad máxima teórica es muy diferente a la velocidad máxima real.
WAN	WIMAX	802.16	30 a 48 Km	Hasta 124Mbps	Soporta calidad de voz (QOS)	La velocidad cae notoriamente después de los 10Km. Susceptible a interferencias. Alto precio de infraestructura
WAN	Enlace de microondas		10 a 30 Km	Hasta 108Mbps	Grandes distancias. Más rápida que WIMAX	Deben tener un camino claro y definido, hasta las lluvias interfieren con ellas.
WAN	3G		3 a 30 Km	512Kbps a 12Mbps	Altas tasas de transmisión de datos para grandes distancias.	Las velocidades teóricas son muy diferentes a las reales. Las redes saturadas degradan la velocidad en los datos

Una tecnología como es el caso del estándar Wi-Fi, para la comunicación del sistema del Pluviógrafo Electrónico, destinada a la captura de datos, permite implementar un diseño de comunicación inalámbrico, confiable y seguro que se ajusta a las condiciones de trabajo del pluviógrafo. Las características de esta tecnología según el estándar, se describen a continuación.

4.1. ESTÁNDAR IEEE 802.11_x_.

Wi-Fi, (“WIRELESSFIDELITY”), se compone de un conjunto de estándares referentes a las redes inalámbricas y basadas en la especificación IEEE 802.11. Esta norma fue aceptada en 1999 por los grandes fabricantes de dispositivos con tecnología inalámbrica y fue seguida por la alianza Wi-Fi, para garantizar la compatibilidad entre los propios dispositivos inalámbricos. La tecnología IEEE 802.11 se creó para ser utilizada en redes locales inalámbricas, y este uso se ha ampliado dando también cobertura a accesos a la red Internet. [27] y [30].

En la Tabla 4.2, se observa las diferentes versiones del estándar IEEE 802.11, con las características más importantes.

Tabla 4.2 Variaciones de la norma IEEE802.11.

Estándar WLAN	IEEE802.11b	IEEE802.11a	IEEE802.11g	IEEE802.11n
Organismo	IEEE	IEEE	IEEE	IEEE
Finalización	1999	2002	2003	2005
Denominación	WI-FI	WI-FI 5	WI-FI	
Banda de Frecuencia	2.4 GHz	5 GHz	2.4 GHz	5 GHz y 2.4 GHz
Velocidad Máxima	11 Mbps	54 Mbps	54 Mbps	300 Mbps
Modulación	DSSS	OFDM	OFDM	OFDM

(Fuente: Cisco Networking Academy).

La técnica de modulación DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) o Espectro Ensanchado por Secuencia Directa, utiliza un código de pseudoruido⁸ para modular directamente una portadora, de tal forma que aumente el ancho de banda de la transmisión y reduzca la densidad de potencia espectral (es decir, el nivel de potencia en cualquier frecuencia dada). La señal resultante tiene un espectro muy parecido al del ruido, de tal forma que a todos los radiorreceptores les parecerá ruido menos al que va dirigida la señal.

La técnica de modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) o Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal, es una multiplexación⁹ que consiste en enviar un conjunto de ondas portadoras de diferentes frecuencias, donde cada una transporta información, la cual es modulada en QAM¹⁰ o en PSK¹¹. Esta técnica es más eficiente que el DSSS.

⁸Código de pseudoruido, es grupo de secuencias binarias que presentan propiedades aleatorias parecidas a las del ruido, y se distinguen de las secuencias aleatorias de verdad en que muestran una periodicidad.

⁹En telecomunicaciones, la multiplexación es la combinación de dos o más canales de información en un solo medio de transmisión usando un dispositivo llamado multiplexor.

¹⁰QAM (Quadrature Amplitude Modulation), es una técnica de modulación digital que transporta datos, mediante la modulación de la señal portadora de información tanto en amplitud como en fase.

Los dispositivos utilizados en la transmisión inalámbrica del proyecto son dispositivos que pueden operar bajo el estándar IEEE 802.11b y IEEE802.11g, en las frecuencia de 2.4 GHz con tasas de transferencia de 11 Mbps y 54 Mbps.

4.2. MARCO LEGAL Y FRECUENCIAS DE OPERACIÓN.

En Colombia el Ministerio de Comunicaciones reglamentó con la Resolución 689 del 21 de abril de 2004 “por la cual se atribuyen unas bandas de frecuencias para su libre utilización dentro del territorio nacional, mediante sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ampliado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia”. Este reglamento técnico atribuyó rangos de frecuencia para los sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas tipo LAN, las cuales se indican en la Tabla 4.3 [31].

Tabla 4.3 Bandas de frecuencias. Resolución 689 de 21/04/2004, artículo 5º.

Banda de Frecuencia (MHz)	
a.	902 a 928
b.	2.400 a 2.483,5
c.	5.150 a 5.250
d.	5.250 a 5.350
e.	5.470 a 5.725
f.	5.725 a 5.850

(Fuente: <http://www.mincomunicaciones.gov.co/>).

De acuerdo a los equipos utilizados, (Access Point y Router), son dispositivos que operan bajo los estándares IEEE802.11b e IEEE802.11g, con una frecuencia de 2.4 GHz, por lo tanto esta frecuencia se encuentra en la banda de frecuencias para uso libre en Colombia.

Además teniendo en cuenta el artículo 9, de la resolución, que establece lineamientos en cuanto a potencias permitidas para uso de antenas omnidireccionales, que establece “La utilización de antenas omnidireccionales solo será permitida en sistemas inalámbricos cuya potencia radiada sea menor o igual a 100 mW. Los sistemas que excedan esta potencia deberán emplear antenas direccionales con un ancho de lóbulo no mayor a 90 grados”. Estas normas se tienen en cuenta para la selección de los dispositivos inalámbricos que se implementan, los cuales se describen en la sección de equipos inalámbricos.

4.3. DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO DE RED PARA LA TRANSMISIÓN INALÁMBRICA.

La estructura de comunicación entre los dispositivos que intervienen en el diseño, establece que para la zona de la estación meteorológica, es necesario de un equipo de transmisión inalámbrica que permita una conexión con el circuito electrónico, y para la zona de ubicación del equipo remoto, es necesario otro equipo de transmisión inalámbrica, estos dos dispositivos inalámbricos están distanciados aproximadamente 240 metros entre sí. La figura 4.1 indica la ubicación de la estación meteorológica y la sección del edificio de la Facultad de Ingeniería Civil, mediante una imagen satelital que puede ser consultada por software Google Earth [32].

¹¹PSK (Phase Shift Keying), es una forma de modulación angular que consiste en hacer variar la fase de la portadora entre un número de valores discretos.



Figura 4.1 Ubicación de la Estación remota de monitoreo y la estación Meteorológica. (Fuente: Google Earth, 2010).

La figura 4.2, indica la instalación de los dispositivos inalámbricos, la ventaja al usar dispositivos de red con tecnología IEEE 802.11, posibilita establecer un enlace a futuro más corto gracias a la ubicación del nuevo edificio de la Universidad del Cauca, para ello es necesario establecer nuevas configuraciones en los dispositivos, como son la asignación de direcciones IP y puertos de enlace, logrando el mismo resultado que la transmisión directa hacia la estación remota de monitoreo, sin la necesidad de ubicar el equipo de almacenamiento de los datos en la proximidad de la estación.



Figura 4.2. Instalación de Equipos inalámbricos.

Se calcula la distancia del obstáculo hasta la línea de intersección entre los focos de la antena y el obstáculo (Figura 4.3).

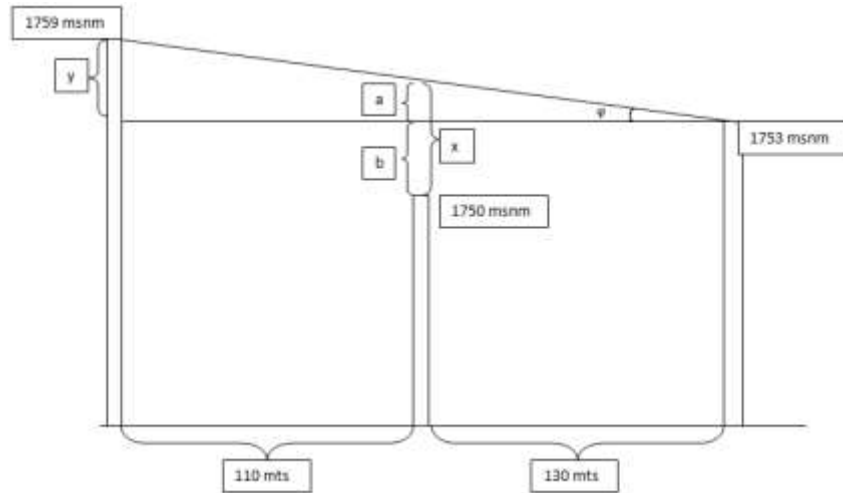


Figura 4.3 Perfil del enlace con las alturas sobre el nivel del mar.

$$\begin{aligned}
 b &= 3\text{mts}, \quad y = 6\text{mts.} \\
 \tan\varphi &= y/(110+130). \\
 \varphi &= \tan^{-1}(6/240) = 1.43 \text{ grados.} \\
 \tan\varphi &= a/130. \\
 a &= 130.\tan\varphi = 3.25 \text{ metros.} \\
 x &= 3.25 + 3. = 6.25 \text{ metros.}
 \end{aligned}$$

X representa la distancia entre el obstáculo y la línea reta formada por los focos de las antenas.

4.4. TOPOLOGÍAS.

En redes WLAN, se tienen dos tipos de topologías básicas de configuración, la ad-hoc y la topología en infraestructura. La topología configurada en los equipos de comunicación inalámbrica es la topología infraestructura (Figura 4.4) [30]. En esta Topología existe un nodo central (Punto de Acceso) que sirve de enlace para todos los demás. Para poder establecer la comunicación, todos los nodos deben estar dentro de la zona de cobertura del AP.



Figura 4.4 Topología usada en la red.

4.5. EQUIPOS INALÁMBRICOS CON TECNOLOGÍA IEEE 802.11.

En la estación de monitoreo, se usa un Router QPCOMQP-WR258GHP que permite la conexión del servidor web con la estación meteorológica.

En la estación meteorológica se usa un Access Point o punto de acceso QPCOM QP-WO259GHP. Que permite la comunicación entre el circuito adaptable al pluviógrafo y la estación de monitoreo

4.5.1. ROUTER INALÁMBRICO. QP-WR258GHP.

Las características que se tienen en cuenta son la potencia de su transmisor, que indica que tan potente es la señal que emite el equipo, la sensibilidad del receptor, que indica que tan débiles pueden ser las señales que detecta el equipo y la ganancia de las antenas.

En la Tabla 4.4 se indican las características técnicas más importantes del Router QPCOM QP-WR258GHP dispositivo inalámbrico de tecnología IEEE802.11 b/g [33].



Figura 4.5 Router QP-WA258GHP.

Tabla 4.4 Características técnicas del QPCOM QP-WA258GHP.

Características técnicas del QPCOM QP-WA258GHP	
RF Potencia Salida.	802.11b < 17 dBm, 802.11g <13.5 dBm
Sensibilidad Receptor.	802.11b -80 dBm, 802.11g -68 dBm.
Distancia de operación	30 a 280 metros.
Antena.	Antena Externa 8dbi.

(Fuente: <http://www.qpcom.com/>).

La configuración de este dispositivo en la red se describe en la sección de anexos, para establecer los parámetros de funcionamiento en cuanto a potencia de transmisión (inferior a 100mw), modo de operación (Modo de operación AP o Punto de acceso), dirección IP, puerta de enlace predeterminada, puerto de acceso, entre otras. Es el punto principal de emisión y recepción, centraliza el reparto de la información de toda la red local inalámbrica. El modo AP permite configurar redes inalámbricas de buen alcance, seguras y alta velocidad [33].

4.5.2. ACCESS POINT (AP) QPCOM QP-WO259GHP.

En la Tabla 4.5 se observa las características técnicas del Access Point QPCOM QO-WA259GHP dispositivo inalámbrico de tecnología IEEE802.11 b/g [34].



Figura 4.6 Access Point Inalámbrico QP-WO259GHP.

Tabla 4.5 Características técnicas del QPCOM QP-WO259GHP.

Características del QP-WA257GHP.

Modos de operación: AP, Cliente.
Potencia de salida RF (típico)
802.11g: hasta 24 ± 1 dBm.
802.11b: hasta 30 ± 1 dBm.
Sensibilidad
-68dBm 802.11g
-80dBm 802.11b
Antena 14dBi tipo Panel

(Fuente: <http://www.qpcom.com/>).

De las especificaciones técnicas de los equipos de la empresa QPCOM con referencias QP-WR258GHP y QP-WO259GHP, brindan grandes ventajas para el desarrollo de la implementación de la transmisión inalámbrica. Una ventaja de estos dispositivos es que pueden interactuar con diferentes dispositivos como los portátiles, computadores de escritorio, tarjetas de red inalámbricas, celulares con Wi-Fi entre otros, además es compatible con las redes cableadas del estándar IEEE802.3.

4.7. RADIOENLACE.

En un radioenlace es importante considerar parámetros que garanticen el éxito de la transmisión, de los cuales se tienen en cuenta la distancia a la que se encuentran los puntos a conectar, para definir la correspondiente potencia de transmisión entre los puntos. Otros parámetros a considerar en el radio enlace son, línea de vista, donde se analizan los obstáculos que se interponen entre el enlace, tales como árboles, montañas, edificios etc, y la zona de Fresnel, la cual describe una forma elíptica a lo largo de la línea de vista, con un ancho que depende de la longitud de onda de la señal y de la distancia a cubrir.

4.7.1. CALCULO DEL ENLACE.

La cantidad total de energía que es generada por el transmisor y los componentes pasivos y activos en la ruta entre los dos puntos, debe ser igual o mayor que la señal requerida para la recepción (sensibilidad del receptor), de la cual se establece la siguiente ecuación:

$$P_t - P_{ct} + G_{at} - P_r + G_{ar} - P_{cr} \geq S_r. \quad (4.1)$$

Donde:

P_t = Potencia del Transmisor.

P_{ct} = Pérdidas por cables del lado del transmisor o pérdidas por inserción.

G_{at} = Ganancia de la antena transmisora.

P_r = Pérdidas por ruta o pérdidas del espacio libre.

G_{ar} = Ganancia de la antena receptora.

P_{cr} = Pérdida por cables del lado del receptor.

S_r = Sensibilidad del receptor.

La suma algebraica de las diferentes variables, dan como resultado una señal cuya intensidad sea mayor o igual a la sensibilidad del receptor, si este valor es menor, no será percibida por el receptor, por lo tanto no se garantiza conexión con el enlace.

Entre los parámetros previos al radioenlace se debe considerar línea de vista y la zona de Fresnel, además como el radio enlace es de corta distancia, no se considera la curvatura terrestre ya que esta se tiene en cuenta para enlaces mayores a nueve kilómetros.

- **Línea de vista:** la altura de las antenas y la distancia del enlace (corta distancia), establece que existe línea de vista entre el transmisor y el receptor, ya que la altura de la estación meteorológica es de 1749 msnm, adicionando 10 metros de la torre que se encuentra en la estación meteorológica, lo que nos daría una altura en la estación de 1759 msnm sobrepasando la altura del obstáculo que se encuentra a 1750 msnm, el receptor se encuentra en el tercer piso de la Facultad de Ingeniería Civil, a 1753 msnm, superando también la altura del obstáculo, como se indicó en el perfil del enlace de la figura 4.3, además la distancia entre el obstáculo y la línea reta formada por los focos de la antena es de 6.25 metros. Los valores de las alturas en los puntos se tomaron con el software Google Earth, ya que es un enlace de corta distancia.
- **Zona de Fresnel:** se le llama al volumen de espacio entre emisor y receptor RF, de manera que el desfase entre las ondas en dicho volumen no supere los 180°, además se debe garantizar un radio (R) sobre un obstáculo, para mantener despejado al menos el 60% de la primera zona de Fresnel (Figura 4.7), [35].

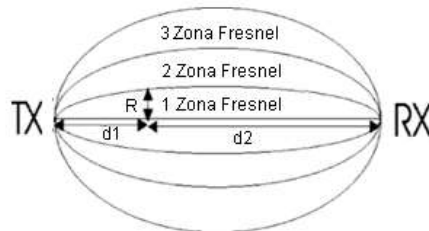


Figura 4.7 Zonas Fresnel entre Transmisor (TX) y Receptor(RX).

Para calcular el radio "R" de la figura 4.8, la primera zona de Fresnel se reemplaza los valores en la ecuación 4.2.

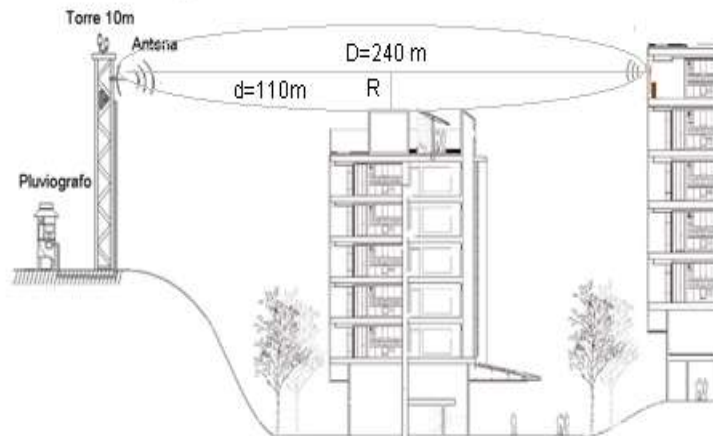


Figura 4.8 Primera Zona Fresnel.

Calculo del radio R para la primera zona de Fresnel.

$$R = 548 \sqrt{\frac{d_1 \cdot d_2}{f(d_1 + d_2)}} \quad (4.2)$$

Donde:

d1 = 130 Km.

d2 = 110 Km.

f = 2400 MHz.

$$R = 548 \sqrt{\frac{0.13 \times 0.110}{2400(0.130 + 0.110)}} \quad (4.3)$$

Remplazando estos valores el radio de la zona Fresnel, $R = 2.73$, el 60% de la primera zona de Fresnel para el radio R es de 1.63 metros, significa que la línea entre los focos de las antenas deben estar 1.6 metros por encima del obstáculo, como se observa en la figura 4.3 se tiene más de 3 metros por encima del obstáculo lo cual garantiza despejada la primera zona de Fresnel.

La Fórmula Fris recomendación UIT-R PN.525-2 para las pérdidas de espacio libre es:

$$Pr = 32.4 + 20 \cdot \log(F [\text{Mhz}]) + 20 \cdot \log(D [\text{km}]) \quad (4.4)$$

$$Pr = 32.4 + 20 \cdot \log(2400 \text{ Mhz}) + 20 \cdot \log(0.24 \text{ km}) \quad (4.5)$$

$$Pr = -88 \text{ dB} \quad (4.6)$$

En el modelo de transmisión, el transmisor es el QPCOM QP-WR258GHP y el receptor es el QPCOM QP-WO259GHP, de las tablas 4.4 y 4.5 se tienen las características de potencia de transmisión, ganancia de las antenas y la sensibilidad del receptor de estos dispositivos.

Pt = 13.5 dbm, Potencia del Transmisor.

Pct = 0 db, Perdidas por cables del lado del transmisor o perdidas por inserción.

Gat = 8dbi, Ganancia de la antena transmisora.

PFRIS = 88, perdidas por ruta o perdidas del espacio libre.

Gar = 14 dbi, Ganancia de la antena receptora.

Pcr = 0 db, Pérdidas por cables del lado del receptor.

Sr = -85dBm, Sensibilidad del receptor.

Remplazando estos valores en la ecuación 4.1 tenemos:

$$13.5 \text{ dbm} - 0 \text{ db} + 8 \text{ dbi} - 88 \text{ dbm} + 14 \text{ dbi} + 0 \text{ db} > -68 \text{ dbm.} \quad (4.7)$$

$$-52,5 > -68. \quad (4.8)$$

De lo anterior, el cálculo del enlace es mayor que la sensibilidad del receptor, además estableciendo que bajo la condiciones de línea de vista y zona de Fresnel el enlace es viable, permitiendo la conexión entre los dispositivos inalámbricos.

4.8. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA.

En esta sección se describe la instalación de los elementos necesarios para iniciar el funcionamiento el Pluviógrafo Electrónico diseñado para este trabajo de grado. El pluviógrafo tipo Hellman, se ubica en la estación meteorológica de la Universidad del Cauca (Figura 4.9), las condiciones de infraestructura lleva a estimar el listado de materiales para realizar el montaje del circuito electrónico en el pluviógrafo mecánico y la instalación de los dispositivos inalámbricos, además se observa la disponibilidad de una conexión a la red eléctrica, que es posible, gracias a que existe una caja de conexión eléctrica en la base de la torre, esta caja de conexión distribuye el cableado eléctrico para la caseta de vigilancia y para las luces de señalización en la parte alta de la torre. Por consiguiente se determina la toma de la energía eléctrica de esta caja de conexión para alimentar el circuito electrónico y el dispositivo inalámbrico.



Figura 4.9 Estación Meteorológica Universidad del Cauca.

La figura 4.10 muestra el diagrama de instalación del pluviógrafo electrónico.

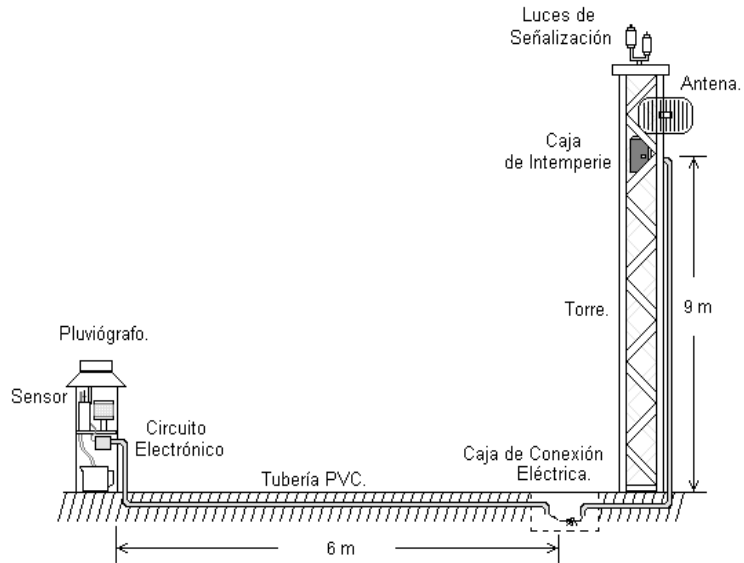


Figura 4.10 Diagrama de Instalación del Pluviógrafo Electrónico.

La tabla 4.6, lista los materiales más importantes que se usaron en el proceso de instalación de los elementos.

Tabla 4.6 Listado de Materiales para la Instalación del sistema Inalámbrico.

Cantidad	Descripción.
1	Router QPCOM WR258GHP.
1	Access Point QPCOM WO259GHP.
1	Circuito adaptable al pluviógrafo tipo Hellman.
7	Tubos PCV para redes eléctricas.
20m	Alambre Centelsa No 12.
17m	Cable UTPCAP 5e.
1	Toma corriente doble.
1	Conectores RJ45.
1	Potenciómetro lineal 5k.

La figura 4.11, presenta algunas imágenes de la implementación del pluviógrafo electrónico.



a. Instalación de Tuberías. b. Instalación del equipo de transmisión.
Figura 4.11 Implementación del Pluviógrafo Electrónico.

5. DISEÑO SOFTWARE.

5.1. CONSIDERACIONES GENERALES.

El diseño software esta implementado bajo el lenguaje de programación PHP (Hypertext Preprocessor), es un lenguaje de código abierto de alto nivel, especialmente pensado para desarrollos Web y el cual puede ser incrustado en páginas HTML. La mayoría de su sintaxis es similar a C, Java y Perl. [36]. Además este diseño software hace uso del software MySQL, que proporciona un gestor de base de datos SQL (Structured Query Language) muy rápido, multi-hilo, multi-usuario y robusto, con características que pueden ser vistas en [37] y que permite el almacenamiento de la información proveniente del circuito electrónico de la estación pluviográfica. El software permite controlar y procesar los datos mediante funciones para el almacenamiento de información, análisis de datos de acuerdo al modelo matemático aplicable a registros pluviográficos, presentación de la información en gráficas de acuerdo a su característica y otras funciones que se describen más adelante, como funciones de copias de seguridad y funciones de mantenimiento.

Debido a que la principal forma de presentación de la información en el diseño software es realizar una gráfica que permita la visualización en tiempo real de la actividad registrada en el instrumento pluviográfico, además de sus históricos, es necesario hacer uso de aplicaciones software que cumplan con algunas características que son requeridas para la presentación de las gráficas y estadísticas que da a conocer el Pluviógrafo Electrónico. Entre las características es necesario el manejo de variables de tiempo, procesar un gran número de datos a graficar y permitir gráficos dinámicos. A continuación se describen algunas aplicaciones evaluadas durante el proceso de diseño y que permiten manipular su código fuente para generar gráficas, implementando en el diseño software los archivos necesarios de una de estas aplicaciones.

Phplot: las características básicas se describen a continuación [38].

- Permite crear diversos tipos de gráficas, como graficas de barras, de líneas, de puntos, de torta, y otros.
- Sombreado 3D para gráficos de barras y de torta.
- Permite personalizar colores, tipo de línea, tamaños, entre otras.
- Uso de etiquetas, marcas, ejes, títulos, grilla.
- Soporta varios tipos de fuentes.
- Usa eje tipo lineal y logarítmico.
- Imagen de salida con soporte de formatos PNG, GIF y JPEG.

El problema fundamental para el uso de este tipo de gráficos es el inconveniente de uso de escalas de tiempo, pero con las ventajas que puede soportar gran número de datos a graficar, además de tener una licencia de uso libre.

pChart: similar a las gráficas generadas por PHPLOT, permite crear varios tipos de gráficas, soporte de fuentes, rápido y personalización de atributos entre otras opciones. Mantiene la limitación con respecto a la escala de los ejes, no permite el uso de variables de tiempo.

Flot Chart: es una librería de graficas en base a JavaScript para jQuery. Tiene funciones como ampliación de imagen, seguimiento del puntero, y opciones ajustables. Los ejes de los gráficos soportan formatos de tiempo, haciendo posible el ajuste de los valores de tiempo en una gráfica en el instante de efectuar una ampliación de la gráfica o Zoom [39]. Un problema de este tipo de gráficos es el manejo de grandes volúmenes de datos, requiere un prolongado tiempo de espera para generar el gráfico.

FusionChartsFree: es un componente gratuito y de código abierto para la creación de gráficas animadas a partir de una serie de datos dados. Ofrece compatibilidad con todos los navegadores y sistemas, y puede ser usado con PHP, Python, Ruby, ASP, ASP.NET, JSP, ColdFusion, HTML e incluso en presentaciones realizadas con PowerPoint [40]. Uno de los problemas que se observa en este tipo de gráficas se debe a que los datos requeridos para generar el gráfico se deben alojar en un archivo de texto, impidiendo extraer de forma directa los datos de una base de datos, se requería efectuar procesos previos de extraer datos de la base de datos para generar el archivo con la información de la gráfica, de esta manera se descarta este tipo de software para generar las gráficas.

ChartDirector: es un componente eficaz para crear gráficos profesionales para ASP, .NET, Java, JSP, PHP, Perl, Python, Ruby, ColdFusion, C++. Permite crear gráficos dinámicos para aplicaciones Windows y aplicaciones Web. Su arquitectura única de capas, permite sintetizar el gráfico deseado mediante el uso de funciones básicas. Los diversos estilos de ChartDirector incluyen gráficos de barras, líneas, curvas, discretos, líneas de tendencia, área, torta, y muchos otros. Los gráficos generados con ChartDirector, pueden ser interactivos, con un juego completo de eventos de mouse, soporta mensajes flotantes, objetos sobre el gráfico "clickeables", y capacidades de modos de selección como, "arrastrar para agrandar" y "arrastrar para desplazarse". Soporta tipos de datos lineales, logarítmicos, de fecha-hora, y basados en etiquetas [41].

De acuerdo a lo anterior, el software ChartDirector fue seleccionado para realizar las gráficas que representan los datos de la precipitación obtenidos por el pluviógrafo electrónico, las razones para esta decisión radican en el uso de gráficos dinámicos que permiten la ampliación o reducción de la información en el gráfico, también por que el eje del tiempo soporta formatos de fecha y hora, lo que facilita la visualización de los gráficos históricos. Otra característica es que permite generar el gráfico de manera rápida para grandes volúmenes de información, que pueden ser extraídos de una base de datos, de esta forma ChartDirector facilita la generación de las gráficas que se utilizan en el software de control bajo el entorno de desarrollo de páginas Web con lenguaje PHP.

5.2. MODELO DE REQUISITOS.

5.2.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

El diseño software requerido para el control del pluviógrafo electrónico, involucra funciones de captura, almacenamiento, análisis y consulta de información. También posibilita que un usuario con privilegios especiales, pueda modificar parámetros esenciales en la presentación y análisis de los datos de precipitación atmosférica. El diseño se basa en una aplicación Web que presenta la información de las lluvias registradas en la zona de ubicación del instrumento, bajo los principios de estudio de la información que es registrada por los pluviógrafos tipo Hellman. Gráficas en tiempo real y consulta de datos históricos de la pluviosidad que se registra en la zona, son algunas funciones que se pueden observar en la página Web.

5.2.2. DESCRIPCIÓN DE CASOS DE USO.

Para el siguiente diagrama de casos y usos se han identificado 2 actores que interactúan directamente con el software. Como primer actor es el “Usuario”: quien solicita información acerca de las condiciones de pluviosidad registradas en la zona. Como segundo actor es el “Administrador”: encargado de iniciar o detener aquellas aplicaciones que operan en segundo plano, además realizar actualizaciones y mantenimiento.

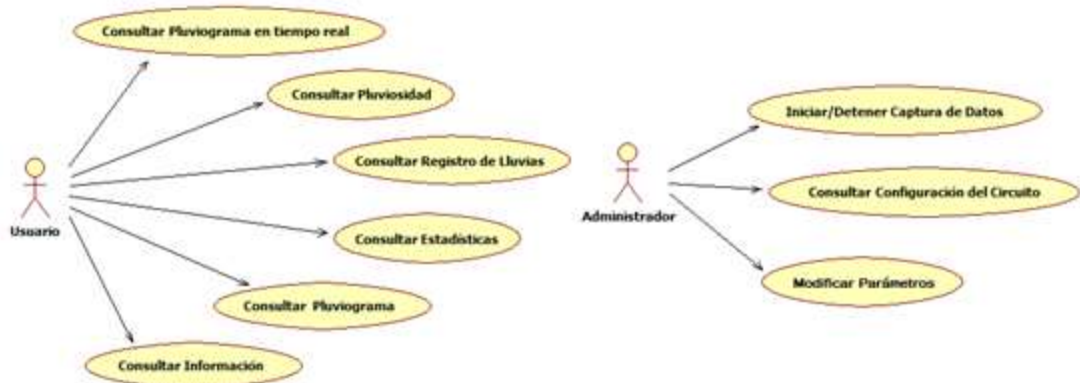


Figura 5.1 Casos de Uso.

5.3. MODELO DE ANÁLISIS.

5.3.1. DIAGRAMA DE SECUENCIAS.

Se han identificado los siguientes diagramas de secuencia a fin de presentar de forma general el funcionamiento del software de monitoreo de la estación pluviográfica. Se indican los diagramas de secuencia para los casos de uso que relacionan las actividades de los actores (Usuario, Administrador), con los procesos de presentación de datos a fin de establecer las condiciones de funcionamiento del pluviógrafo electrónico.

Casos de Uso para Usuario.

Consultar Pluviograma en Tiempo Real.

Tabla 5.1 Caso de uso Consultar pluviograma en Tiempo Real.

Caso de Uso	Consultar Pluviograma en Tiempo Real.	
Actores	Usuario.	
Propósito	Permite al usuario visualizar el Pluviograma actual y en tiempo Real.	
Resumen	Este caso de uso es iniciado por el usuario quien lo activa al momento de realizar la petición de carga de la página Web de monitoreo del Pluviógrafo Electrónico.	
	Usuario	Sistema
Flujo Principal	1. Ingresa a la dirección URL de la página del Pluviógrafo Electrónico.	2. Consulta y carga la información básica. 3. Carga de datos de la base de datos cada tiempo “t” y luego despliega la información en una gráfica.
Excepciones	Información de No conexión a la base de datos.	

Diagrama de secuencia (Consultar Pluviograma en Tiempo Real).

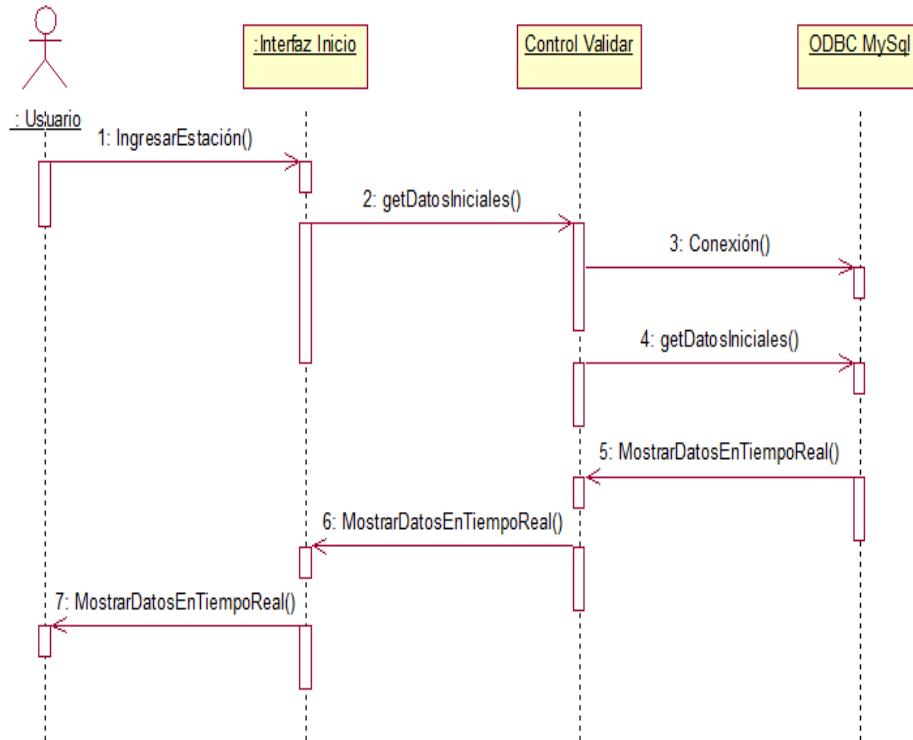


Figura 5.2 Diagrama de secuencia para el caso de uso Consultar Pluviograma.

Consultar Pluviosidad.

Tabla 5.2 Caso de uso Consultar Pluviosidad.

Caso de Uso	Consultar Pluviosidad.
Actores	Usuario.
Propósito	Permite al usuario visualizar las cantidades totales de precipitación por días meses y años.
Resumen	Iniciado por el usuario quien lo activa al momento de realizar la petición de carga de la página Web de monitoreo del Pluviógrafo Electrónico. Visualiza los contenidos en tres gráficos que representan las cantidades totales de pluviosidad por días meses y años.
	Usuario Sistema
Flujo Principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ingresa a la dirección URL de la página del Pluviógrafo Electrónico. 2. Consulta y carga la información básica. 3. Carga de datos de la base de datos y luego despliega la información en las gráficas.
Excepciones	Información de No conexión a la base de datos.

Diagrama de secuencia (Consultar Pluviosidad).

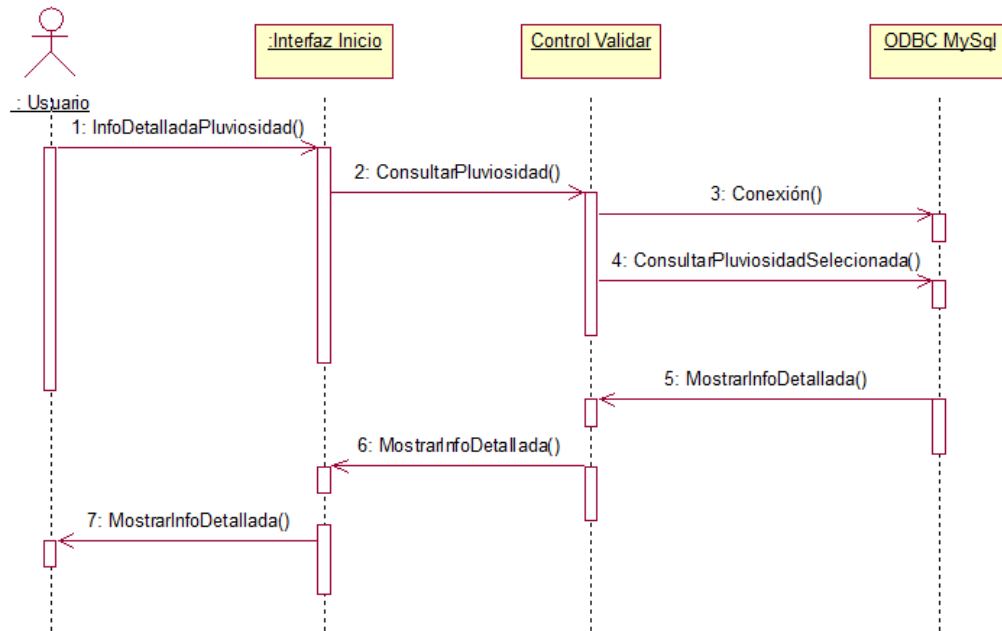


Figura 5.3 Diagrama de secuencia para el caso de uso Consultar Pluviosidad.

Consultar Registro de Lluvias.

Tabla 5.3 Caso de Uso Consultar Registro de Lluvias.

Caso de Uso	Consultar Registro de Lluvias.
Actores	Usuario.
Propósito	Permite al usuario visualizar el Registro de las Lluvias que se identifican gracias al Pluviógrafo Electrónico.
Resumen	Activado por el usuario, al momento de realizar la petición de carga de la página Web de monitoreo del Pluviógrafo Electrónico. Indica la pluviosidad y duración en una grafica por día, mes y año.
	Usuario Sistema
Flujo Principal	1. Ingres a la dirección URL de la página del Pluviógrafo Electrónico. 2. Consulta y carga la información básica. 3. Carga de datos de la base de datos y luego despliega la información en una gráfica.
Excepciones	Información de No conexión a la base de datos.

Diagrama de secuencia (Consultar Registro de Lluvias).

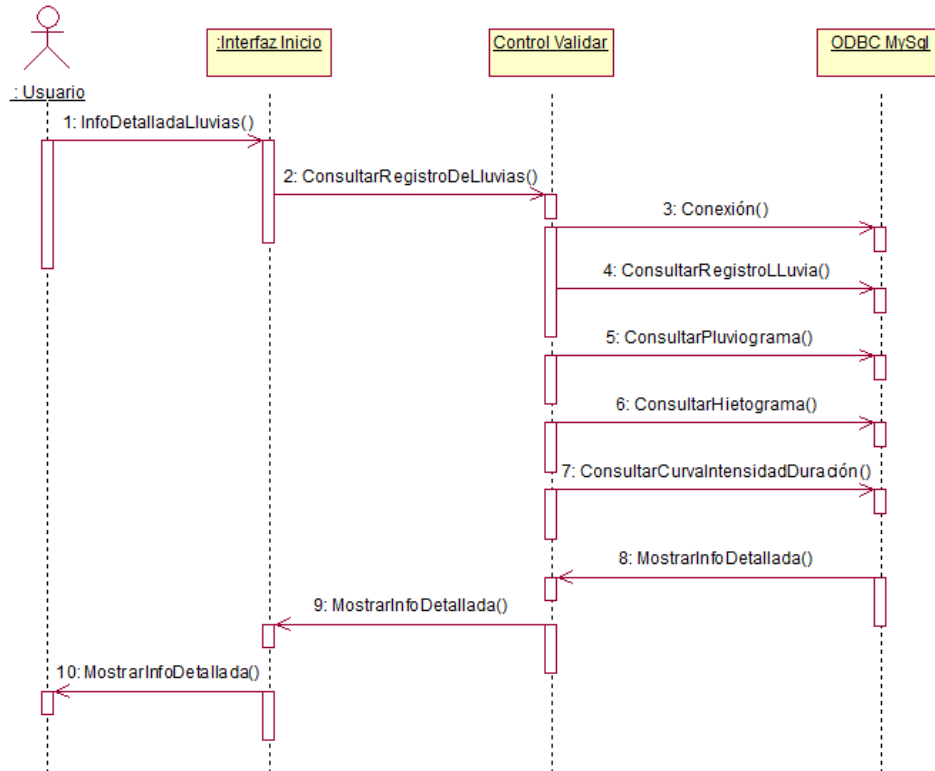


Figura 5.4 Diagrama de secuencia para el caso de uso Consultar Registro de Lluvias.

Consultar Estadísticas.

Tabla 5.4 Caso de Uso Consultar Estadísticas.

Caso de Uso	Consultar Estadísticas.	
Actores	Usuario.	
Propósito	Permite al usuario visualizar los valores máximos de las precipitaciones que se identifican por días, meses y años. Activado por el usuario, al momento de realizar la petición de carga de la página Web de monitoreo del Pluviógrafo Electrónico. Despliega los valores de máxima pluviosidad total, máxima Pluviosidad por lluvia, máxima Intensidad por lluvia, máxima duración total.	
Resumen	Usuario	Sistema
Flujo Principal	1. Ingresa a la dirección URL de la página del Pluviógrafo Electrónico.	2. Consulta y carga la información básica. 3. Carga de datos de la base de datos y luego despliega la información en una tabla.
Excepciones	Información de No conexión a la base de datos.	

Diagrama de secuencia (Consultar Estadísticas).

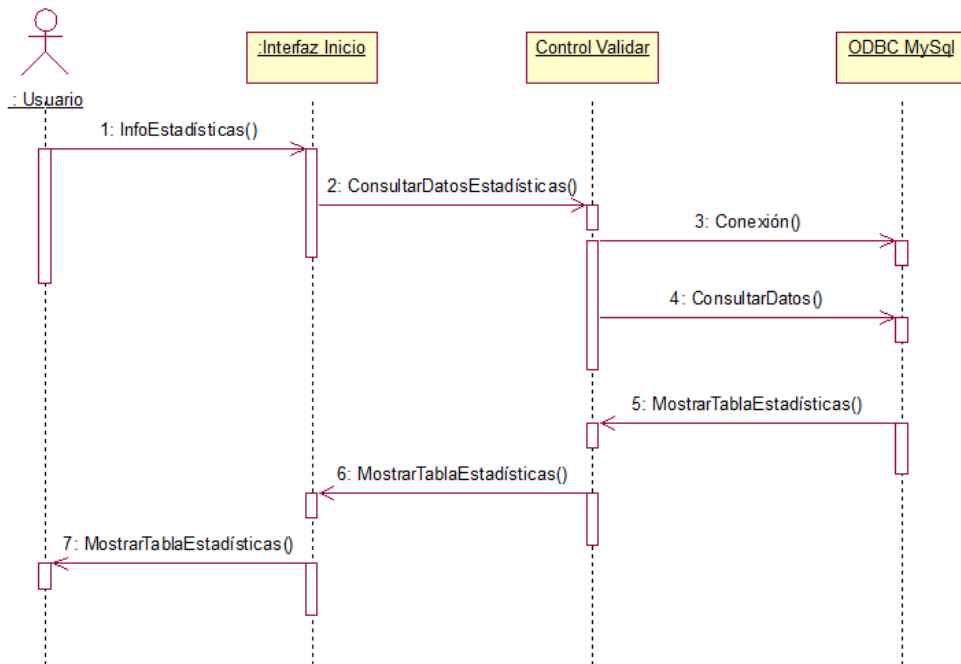


Figura 5.5 Diagrama de secuencia para el caso de uso Consultar Estadísticas.

Consultar Información.

Tabla 5.5 Caso de Uso Consultar Información.

Caso de Uso	Consultar Información.
Actores	Usuario.
Propósito	Permite al usuario realizar consultas de los históricos de los Pluviogramas, Registros de llluvias, Hietogramas de las llluvias, Hietogramas de Intensidades, Curvas Intensidad-Duración.
Resumen	Activado por el usuario, quien determina la opción para la selección de Pluviogramas, Registros de llluvias entre otros. Esta información es visualizada en graficas y tablas.
	Usuario Sistema
Flujo Principal	<p>1. Ingres a la dirección URL de la página del Pluviógrafo Electrónico.</p> <p>2. Consulta y carga la información básica.</p> <p>3. Selección de la opción de acuerdo al tipo de registro histórico.</p> <p>4. Carga de datos de la base de datos y luego despliega la información ya sea en una gráfica o en una tabla.</p>
Excepciones	Información de No conexión a la base de datos.

Diagrama de secuencia (Consultar Información).

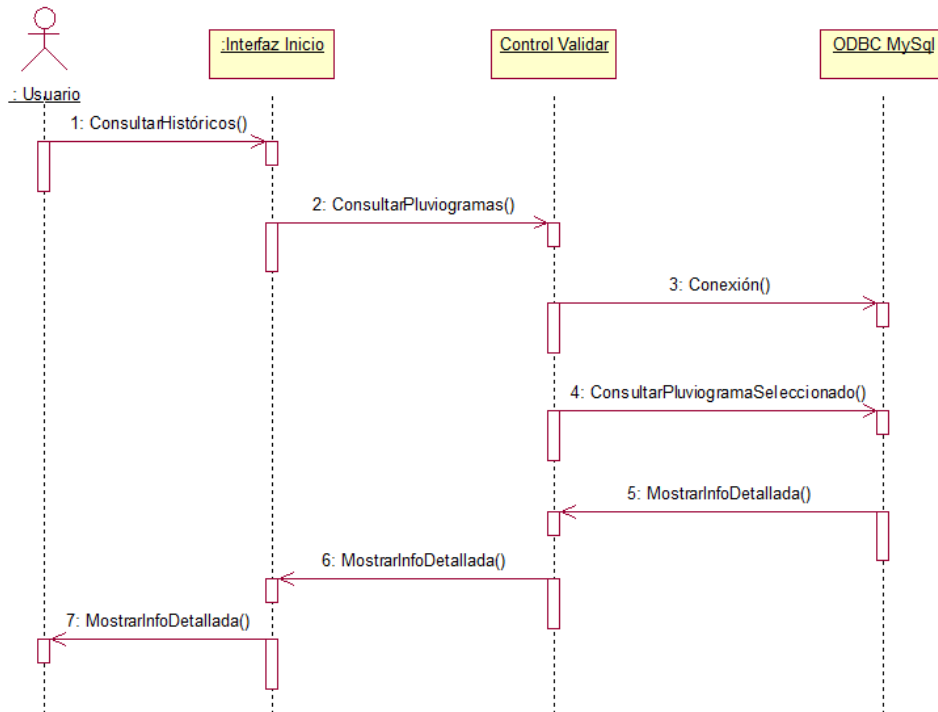


Figura 5.6 Diagrama de secuencia para el caso de uso Consultar Información.

Casos de uso para Administrador.

Iniciar/Detener Captura de Datos.

Tabla 5.7 Caso de uso Iniciar Detener Captura de Datos.

Caso de Uso	Iniciar Detener Captura de Datos.	
Actores	Administrador.	
Propósito	Inicia o termina el proceso de captura de datos que provienen del pluviógrafo electrónico.	
Resumen	Este caso de uso es iniciado por el administrador, o también puede ser iniciado de forma automática. Cuando es iniciado de manera automática, solo el administrador puede detener en proceso.	
	Administrador	Sistema
Flujo Principal	1. Ingresar la dirección URL de la página del Pluviógrafo Electrónico. 3. Ingresar los datos de administrador.	2. Carga la información básica. 4. Verifica los datos de administrador. 6. Ejecuta acción de activar o desactivar captura de datos.
Excepciones	Información de problemas de validación de acceso.	

Diagrama de secuencia (Iniciar/Detener Captura de Datos).

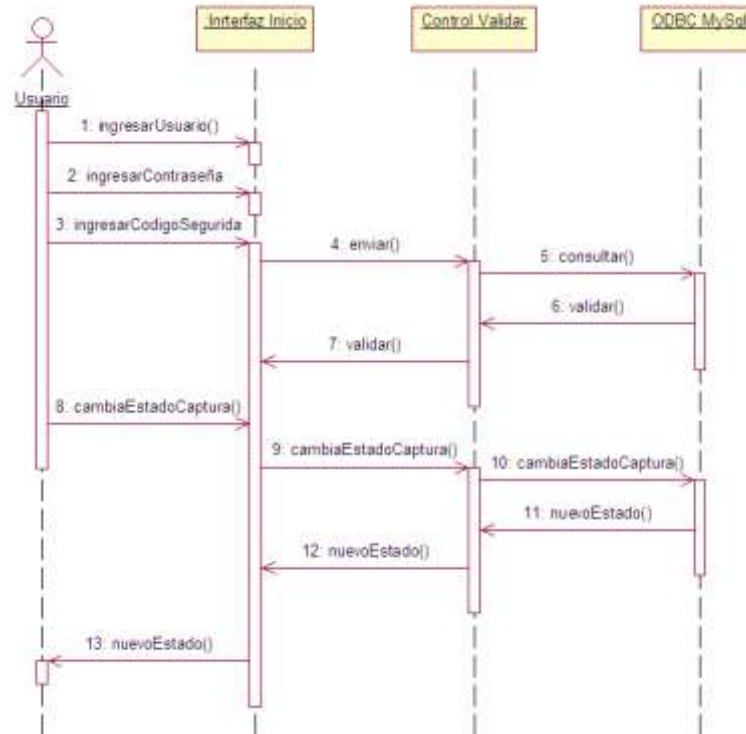


Figura 5.7 Diagrama de secuencia para el caso de uso Iniciar/Detener Captura de datos.

Consultar Configuración del circuito.

Tabla 5.8 Caso de uso Consultar Configuración del circuito.

Caso de Uso	Consultar configuración del circuito.	
Actores	Administrador.	
Propósito	Consulta los parámetros básicos de funcionamiento del circuito electrónico.	
Resumen	Este caso de uso es iniciado por el administrador, con el propósito monitorear las condiciones de funcionamiento del circuito electrónico.	
	Administrador	Sistema
Flujo Principal	1. Ingresa la dirección URL de la página del Pluviógrafo Electrónico. 3. Ingresa los datos de administrador.	2. Carga la información básica. 4. Verifica los datos de administrador. 6. Ingresa a la URL del circuito.
Excepciones	Información de problemas de validación de acceso. Problemas en la conexión hacia el circuito electrónico.	

Diagrama de secuencia (Consultar Configuración del circuito).

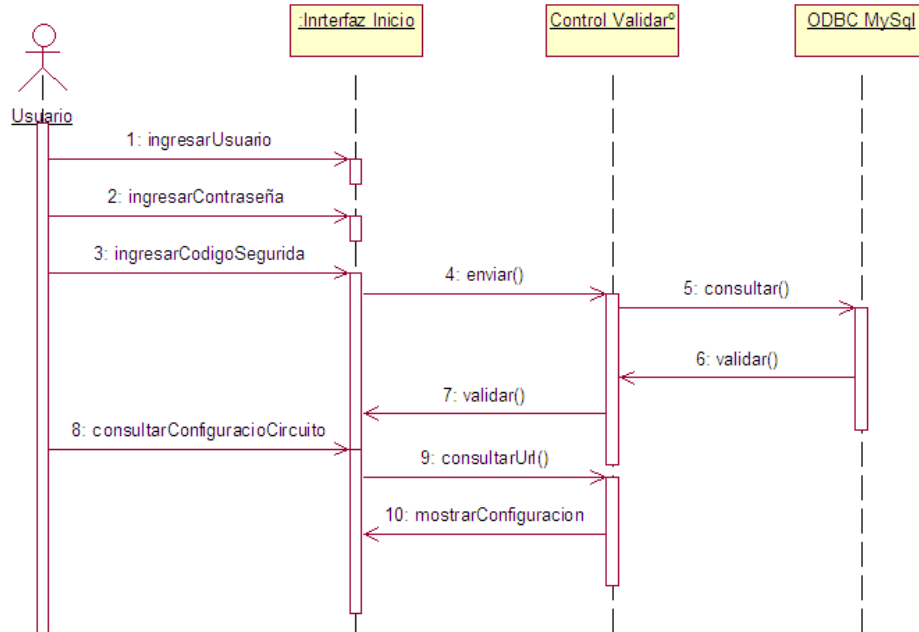


Figura 5.8 Diagrama de secuencia para el caso de uso Consultar Configuración del Circuito).

Modificar Parámetros.

Tabla 5.9 Caso de uso Modificar Parámetros.

Caso de Uso	Modificar Parámetros.	
Actores	Administrador.	
Propósito	Consultar y modificar los parámetros de configuración del pluviógrafo electrónico.	
Resumen	Este caso de uso es iniciado por el administrador, con el propósito consultar o modificar parámetros que determinan condiciones de funcionamiento del software de control.	
	Administrador	Sistema
Flujo Principal	1. Ingresar la dirección URL de la página del Pluviógrafo Electrónico. 3. Ingresar los datos de administrador. 5. Opciones de configuración de parámetros	2. Carga la información básica. 4. Verifica los datos de administrador. 6. Cambio de parámetros de configuración.
Excepciones	Información de problemas de validación de acceso.	

Diagrama de secuencia (Modificar Parámetros).

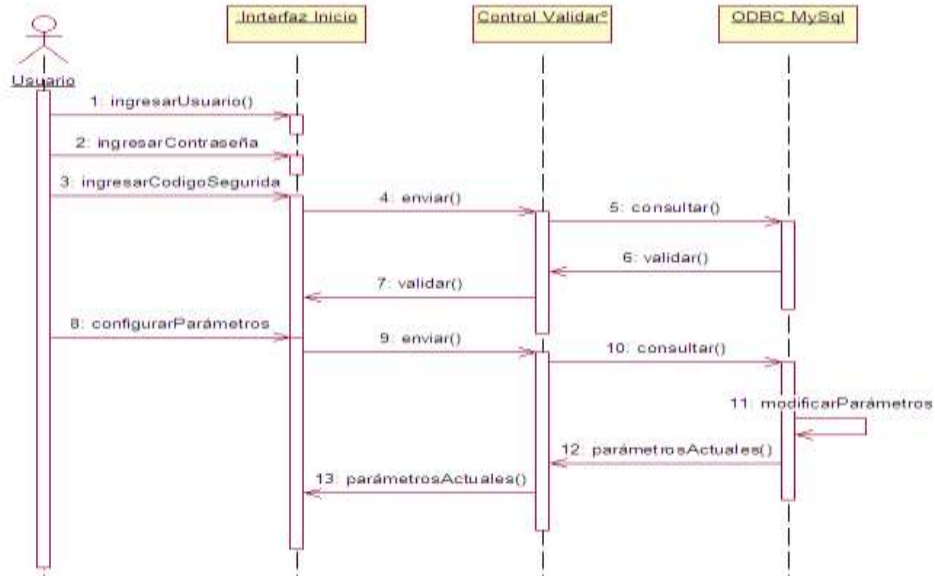


Figura 5.9 Diagrama de secuencia para el caso de uso Modificar Parámetros.

5.3.2. DIAGRAMA DE COMPONENTES.

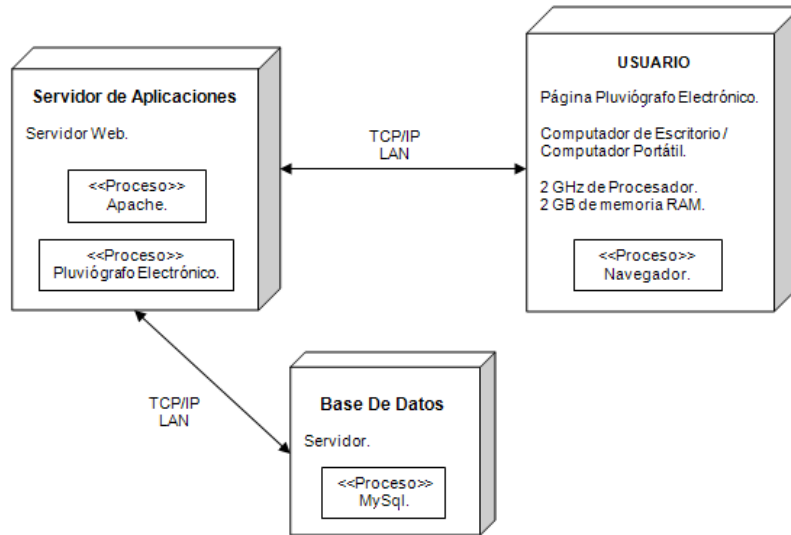


Figura 5.10 Diagrama de Componentes.

5.3. DISEÑO GENERAL DE LA APLICACIÓN SOFTWARE.

El diseño del pluviógrafo electrónico establece unas condiciones de funcionamiento que determinan los procesos que se deben llevar a cabo por el usuario o por el administrador de la aplicación de monitoreo. Desde el punto de vista del usuario las actividades que se ejecutan están relacionadas con la visualización de datos actuales y la selección de datos históricos referidos a la pluviosidad presente en la zona de ubicación del pluviógrafo. Y desde el punto de vista del administrador de la página Web, el diseño del software permite establecer condiciones de funcionamiento del circuito electrónico que se acopla al

pluviógrafo y también la posibilidad de variar parámetros del software que determinan el manejo de los datos que se obtienen del circuito electrónico, entre estos parámetros está la calibración del sensor, configuraciones de gráficos, mantenimiento de la página, copias de seguridad y otros. Las siguientes figuras (Figura 5.11 y Figura 5.12), muestran algunas interfaces de Usuario y Administrador, que hacen posible la visualización de los datos en tiempo real y los históricos, además de las opciones de configuración en modo administrador. La aplicación Web se describe más a fondo en la sección de anexos.

Página de Inicio.

Menú Principal

Formulario de autenticación de Usuario (Administrador)

Cabecera y Enlaces de Información.

Pluviograma en Tiempo Real, e indicador de Pluviosidad Diaria.

Precipitación Total por Días, Meses y Años.

Información de las lluvias registradas.

Estadísticas de las lluvias registradas.

Pluviograma en Tiempo Real

El Pluviograma en Tiempo Real representa la precipitación acumulada o que se obtiene con el Pluviógrafo Electrónico, esta gráfica sigue el funcionamiento de la pantalla del Pluviógrafo (ver Anexo), cuando abre en la estación Meteorológica de Ingeniería de la Universidad del Cauca. La precipitación se muestra en centímetros o en milímetros por metro cuadrado, indicado por eje vertical. El eje horizontal indica el tiempo en formato Hora:Minutos:Segundos.

Pluviograma Meses y Años

Precipitación Total

Precipitación por Día en Octubre de 2010

Precipitación por Meses en el año 2010

Precipitación por Años

Registro de Lluvias

La tabla de Lluvias indica la distribución de las lluvias en un año del tiempo. La tabla se genera con respecto a la fecha de inicio y fecha de finalización, indicando de inicio a la precipitación de la lluvia. La tabla que se genera en la parte inferior del gráfico indica las características de las lluvias, donde el campo "ID" significa el identificador de lluvia, el campo "Fecha Inicio" y "Fecha Final" indican el tiempo de duración de la lluvia, el campo "Cantidad" indica la cantidad de lluvia en litros por metro cuadrado, el campo "Intensidad" indica la cantidad total de agua que se acumula de la lluvia medida en milímetros o en su equivalente a litros por metro cuadrado. El campo "Intensidad", se obtiene de la división de la precipitación y la duración, medida en milímetros por hora, el campo "Categoría", se obtiene a partir de la intensidad de la lluvia, según la tabla de la siguiente tabla: Débil (0.00mm a 2.00mm), Ligera (2.00mm a 5.00mm), Moderada (5.00mm a 20.00mm), Fuerte (20.00mm a 50.00mm), Muy Fuerte (50.00mm a 75.00mm) e Intensa (>75.00mm), y el campo de "Estado", es un código que indica una página que almacena información más detallada de la lluvia.

GRÁFICA DE LLUVIAS

ID	Fecha Inicio	Fecha Final	Duración	Precipitación (mm)	Intensidad (mm/hora)	Categoría	Estado
1	2010-10-02 21:40:00	2010-10-02 21:51:00	00:11:00	0.00	0.00000	Débil	No Registrada
2	2010-10-02 22:00:00	2010-10-02 23:00:00	00:00:00	0.00	0.00000	Débil	No Registrada
3	2010-10-02 23:00:00	2010-10-02 23:00:00	00:00:00	0.00	0.00000	Débil	No Registrada

Estadísticas

De acuerdo a la información registrada en la base de datos, se obtiene los valores de máxima pluviosidad, suma de máxima pluviosidad, suma de máxima intensidad y suma de máxima duración.

MÁXIMA PLUVIOSIDAD TOTAL REGISTRADA			LLUVIA DE MÁXIMA PLUVIOSIDAD		
FECHA	CANTIDAD (mm)	REGISTRO	FECHA	CANTIDAD (mm)	
DÍA - 14/09/10	14.30	1	2010-10-02 23:02:42	7.30	
MESES - 10/2010	20.43	1	2010-10-02 23:02:42	7.30	
AÑO - 2010/10	30.8	1	2010-10-02 23:02:42	7.30	

LLUVIA DE MÁXIMA INTENSIDAD (mm/hora)			LLUVIA DE MÁXIMA DURACIÓN (minutos)		
FECHA	FECHA	INTENSIDAD (mm/hora)	FECHA	FECHA	DURACIÓN (minutos)
MESES	2010-10-02 23:02:42	7.30	2010-10-02 23:02:42	2010-10-02 23:02:42	00:00:00
AÑO	2010-10-02 23:02:42	7.30	2010-10-02 23:02:42	2010-10-02 23:02:42	00:00:00

Figura 5.11 Página Principal de la Aplicación Web.

Página Administrador.

ESTACIÓN PLUVIOGRÁFICA
Facultad de Ingeniería Civil
Departamento de Hidráulica e Hidrología

Universidad Del Cauca
Popayán-Cauca
2010

Inicio | Ayuda de | Contacto

Datos de Configuración

Rango de Tiempo Pluviograma (min): 5
 Tiempo mínimo entre lloviznas (min): 10
 Valor punto mínimo del sensor: 20
 Medida desde 0mm hasta 10mm: 000
 Valor punto 10mm del sensor: 952

Tabla de Desconexión

id	Fecha Apagado	Fecha Encendido
1	2010-09-30 09:41:53	2010-09-30 09:41:53

Configuración de Parámetros de las lloviznas

El Pluviograma de la página principal muestra un gráfico que tiene un rango de tiempo que puede ser configurado mediante esta opción, la siguiente figura indica el parámetro que se modifica.

PLUVIOGRAMA (Rango: 5 minutos)

Rango de tiempo del gráfico "Pluviograma": 5 minutos

La gráfica de lloviznas indica las lloviznas con respecto a la hora de inicio y hora de finalización en el eje del tiempo, además de la pluviosidad total de la misma indicada por el eje vertical. Cuando no hay actividad en el sensor después de una llovizna por más de "X" minutos, la pluviosidad registrada después de ese tiempo hace referencia a una nueva llovizna. Este parámetro se indica en la figura de acuerdo a la cota TD.

GRÁFICA DE LLOVIAS

Tiempo mínimo entre lloviznas: 10 minutos

Menú Administrador

- Parámetros de Lluvias
- Mantenimiento Base de Datos
- Copias de Seguridad
- Cambiar Contraseña
- Pluviómetro
- Calibración del Sensor
- Circuito Electrónico

Inicio | Ayuda de | Contacto

Figura 5.12 Página Administrador.

6. PRUEBAS Y RESULTADOS.

Las pruebas de funcionamiento del sistema total del Pluviógrafo Electrónico que consistían en la adaptación del circuito electrónico al pluviógrafo tipo Hellman, la conectividad del radioenlace haciendo uso de los equipo de transmisión inalámbrica de la empresa QpCom, la configuración como servidor de páginas Web del equipo remoto destinado al almacenamiento de los datos y la instalación aplicación software en el servidor, se iniciaron el día 14 de Julio de 2010, con el fin de observar el comportamiento del sistema total, para determinar las condiciones de funcionamiento y calibración del instrumento para poder realizar un análisis comparativo entre los tres instrumentos de medida de la precipitación en la zona de estudio (Pluviógrafo Hellman, Pluviógrafo Electrónico y Estación Davis Vantaje Pro2 plus).

Las primeras pruebas consistían en la evaluación de los dos tipos de sensores cuyas características físicas como la forma, tamaño y sistema de medición, permitían el acople al sistema de medida del pluviógrafo mecánico. Teniendo en cuenta la variación que se podía presentar en la medida debido a la adaptación del sensor, se evalúa el comportamiento de la medida antes y después de la adaptación. Además en la figura 6.1, se observa la dimensión del flotador y la base donde se apoya la plumilla, con lo cual se establece que el sensor adaptado, no ejerce fuerza de resistencia considerable que altere de manera importante el sistema de medición para el pluviógrafo, debido a que el diseño físico del sistema mecánico soporta fácilmente el peso o la fuerza de fricción de cualquiera de los dos sensores.



Figura 6.1 Sistema de Flotador y Plumilla de un Pluviógrafo tipo Hellman.

En la figura 6.2, se indica la instalación del sensor tipo potenciómetro medidor de combustible. El sensor se asegura sobre el ducto proveniente del embudo colector de agua mediante unas abrazaderas plásticas. La guía o varilla que posee el sensor reposa sobre la base de la plumilla, lo cual hace posible seguir del movimiento del flotador.

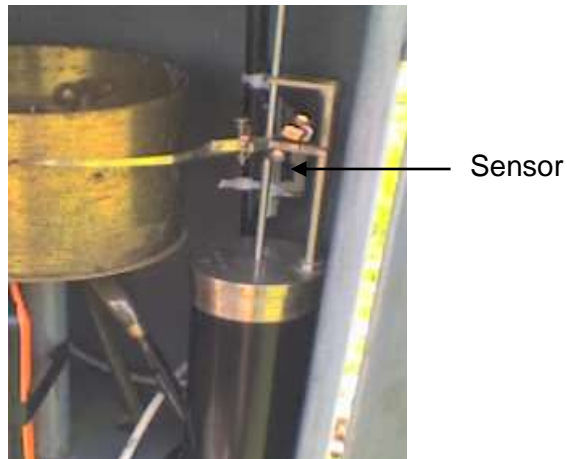


Figura 6.2 Instalación del sensor tipo potenciómetro medidor de combustible.

Las mediciones obtenidas con este elemento se indican en la gráfica de la figura 6.3, para una lluvia real, en un intervalo de 2 horas, donde los valores en el eje vertical representan la relación de muestreo de una señal de 5 voltios con una resolución de 2^{10} muestras, generando 1023 niveles posibles, con lo que cada muestra es diferenciada una de otra por 4.88 mV. Y el eje horizontal indica el tiempo en formato de hora, minuto y segundo. La resolución de muestreo para la captura de datos es de 1 segundo, esto con el fin de poner a prueba el diseño del sistema del pluviógrafo electrónico bajo condiciones de trabajo continuo.

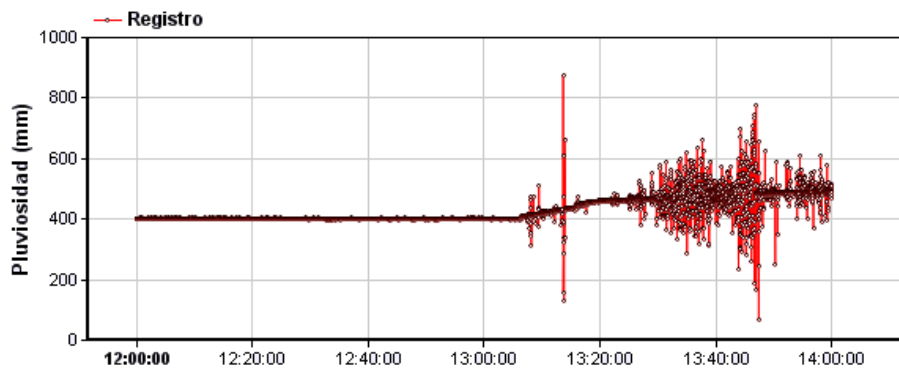


Figura 6.3 Medidas tomadas con el sensor tipo potenciómetro medidor de combustible.

El resultado de las pruebas realizadas con este elemento, determinaron que el sensor no resulta apto para el funcionamiento del pluviógrafo electrónico, ya que no genera datos confiables para la medición de la precipitación. El análisis del comportamiento del sensor hizo posible establecer que la causa de que los valores presentaran una inestabilidad considerable se debía a la distribución no uniforme del bobinado del sensor, ya que este sensor posee un alambre especial conocido como niquelina y cuando el contacto del sensor realizaba el desplazamiento sobre bobinado, habían ciertos intervalos en que existían espacios entre alambres, y por consiguiente generaba errores en la medida. Cabe resaltar que el uso de este elemento se limita a la disponibilidad de adquisición en el mercado ya que se adquiere a partir de los instrumentos medidores de combustible, lo que implica una desventaja a la hora de un eventual cambio de este elemento.

En la figura 6.4, se indica la ubicación del sensor tipo potenciómetro deslizante, actualmente el sistema del pluviógrafo electrónico hace uso de este elemento, una ventaja respecto al otro sensor es la facilidad de adquisición del elemento en el mercado. El acople al sistema del flotador no se ve afectado en su movimiento gracias a que el potenciómetro internamente posee dos rieles para el desplazamiento de la sección móvil. Este elemento tiene una tarjeta que contiene dos guías de grafito sobre las que se apoya la sección móvil. Al igual que el sensor anterior los pasos de 4.88 mv determinan los pasos de muestreo de la señal que es usada para la medición de la precipitación.



Figura 6.4 Instalación del sensor tipo potenciómetro deslizante.

La gráfica que genera este elemento se puede apreciar en la figura 6.5 para una lluvia real, en un intervalo de 2 horas, muestreada cada 1 segundo, en la que se observa que el potenciómetro lineal presenta un mejor comportamiento para las mediciones que el anterior sensor, pero estas mediciones se ven afectadas en magnitud por el ruido que introduce el componente de fabricación del potenciómetro (Grafito). La resistencia total del potenciómetro es de 50 k Ω , con un rango de variación del 10%, que viene dado según la característica del potenciómetro (5-10 %). Por otra parte el circuito integrado PIC18f452 introduce errores en la medición que afecta a los dos sensores, a causa del proceso de conversión de la señal analógica a digital.

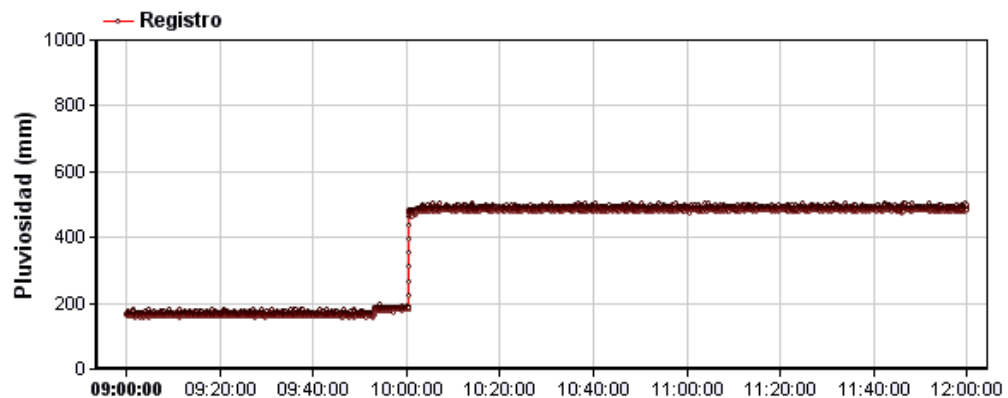


Figura 6.5 Medidas tomadas con el sensor tipo potenciómetro deslizante.

El resultado que se obtiene de este sensor es ajustado mediante la herramienta software de control del pluviógrafo electrónico, estableciendo los valores representativos de las precipitaciones atmosféricas. De esta manera se hace uso del sensor tipo potenciómetro deslizante por su facilidad de uso, adquisición en el mercado y fiabilidad en la información.

En la tabla 6.1 se indican algunas de las mediciones realizadas para la calibración de la plumilla cuando la plumilla realiza la marcación sobre el papel, este proceso consiste en agregar cantidades de agua determinadas de la cual se obtiene el valor teórico según la ecuación 2.4, y posteriormente se realiza la observación de la medida marcada por la plumilla sobre el papel, de esta manera se obtiene un valor aproximado de la medida de la cantidad de agua en milímetros y que corresponde a la medida en milímetros sobre el papel.

Tabla 6.1 Valores observados sobre el papel para cantidades de agua en mililitros.

Cantidad de agua (mililitros ml)	Valor Teórico (milímetros mm)	Valor observado en el papel (mm).
100	5	4,85
		4,9
		5,1
		5,05
		5
		4,9
		4,8
		4,85
		4,95
		5,1
200	10	9,7
		9,65
		9,7
		9,55
		9,8
		10
		9,9
		9,95
		10,1
		10

Debido a que existen errores en la apreciación de la medición, se evalúa cual es el nivel de aceptación de dicha medida, con lo que se realizan varias medidas con el fin de corregir los errores aleatorios¹², los valores observados sobre el papel son: x_1, x_2, \dots, x_n y se calcula el valor promedio o "media" y la desviación estándar.

$$\bar{x} = \sum \frac{x_i}{n}. \text{Media.} \quad (6.1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \text{Desviación estándar.} \quad (6.2)$$

Los valores de media y desviación estándar con respecto a los valores de la tabla 6.1, son:

$$\bar{x}_{[100mL]} = 4.95 \text{ mm.}$$

$$\sigma_{[100mL]} = 0.10801 \text{ mm.}$$

$$\bar{x}_{[200mL]} = 9.835 \text{ mm.}$$

$$\sigma_{[200mL]} = 0.18112 \text{ mm.}$$

¹² Los errores aleatorios son los que se producen de un modo no regular, variando en magnitud y sentido de forma aleatoria, son difíciles de prever, y dan lugar a la falta de calidad de la medición.

De lo anterior se puede decir que la medida tiende a alejarse aproximadamente 0.2 mm, del promedio de las mediciones que realizan mediante la observación en el registro. Por otra parte, el valor teórico para la medida de 100 ml es de 5 mm, y para 200ml un valor de 10 mm, dando un error entre el valor teórico y el valor observado. Luego se calcula el error absoluto y el error relativo¹³, para algunos valores de la tabla seleccionados de manera aleatoria con el fin de evaluar si las mediciones son aceptables.

$$ErrorAbsoluto = |Valor Experimental - Valor real|. \quad (6.3)$$

$$ErrorAbsoluto_{[100mL]} = |(4.95 - 5)|mm = 0.05 mm. \quad (6.4)$$

$$ErrorAbsoluto_{[200mL]} = |9.84 - 10|mm = 0.16 mm. \quad (6.5)$$

$$ErrorRelativo = \frac{|(Valor Experimental - Valor real)|}{valor real} \times 100\%. \quad (6.6)$$

$$ErrorRelativo = \frac{0.05}{5} \times 100\% = 1 \%. \quad (6.7)$$

$$ErrorRelativo = \frac{0.16}{10} \times 100\% = 1.6 \%. \quad (6.8)$$

Un error relativo mayor al 10% indica que la medida no es válida [42].

Con el anterior análisis se puede deducir que las medidas que se realizan por medio de la observación en la escala del papel, indican valores aproximados y válidos para la medición de la cantidad del agua, teniendo en cuenta el error en la medida, de esta forma podemos tomar el registro (pluviograma) como punto de referencia para la comparación de los datos del nuevo sistema de medida.

Por otra parte, el sensor se ubica en el instrumento de tal manera que la guía del potenciómetro lineal quede unida al sistema de sujeción de la plumilla. El desplazamiento que ejerce cada elemento difiere en cuanto el punto máximo y punto mínimo, por consiguiente es necesario establecer una relación para el movimiento. En la figura 6.6 se observa esta característica en el desplazamiento, siendo el rango de desplazamiento mayor al desplazamiento por la plumilla.

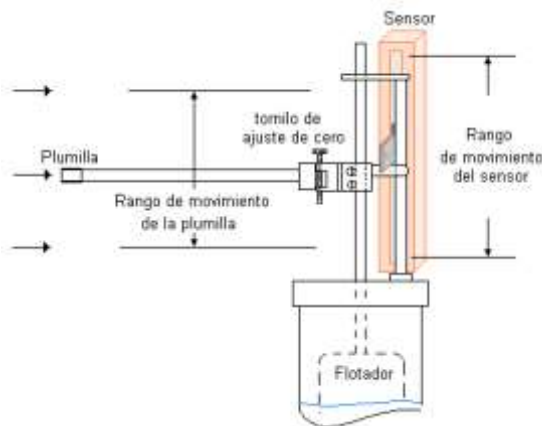


Figura 6.6 Rango de movimiento de cada sistema de medida.

¹³Error absoluto: es la diferencia entre el valor de la medida y el valor tomado como exacto.

Error relativo: es el cociente (la división) entre el error absoluto y el valor exacto. Si se multiplica por 100 se obtiene el porcentaje (%) de error.

Para establecer el valor del punto máximo y mínimo para el sensor, representativos al valor 0 mm y 10 mm respectivamente, se efectúan una serie de medidas que tienen como objetivo determinar el rango de desplazamiento en el sensor de acuerdo al rango de desplazamiento de la plumilla, este proceso consiste en ubicar la plumilla en el punto cero del papel y realizar la toma de 10 datos mediante el software, luego se ubica la plumilla el punto 10 mm del papel, se toma de nuevo 10 datos, estos valores pueden variar de 0 a 1024 de acuerdo a la cuantificación de la señal que varía de 0 a 5 voltios que entrega el sensor hacia el PIC 18F452. La tabla 6.2 indica los valores para la calibración del punto máximo y mínimo. A partir de estos es posible determinar el valor correspondiente al punto 0 mm y punto 10mm para las gráficas en el software.

Tabla 6.2 Medidas para calibración del sensor del pluviómetro electrónico.

	Valor capturado por el Software (0 - 1.024).
Marca 0mm.	25
	23
	28
	27
	25
	24
	24
	19
	20
	27
Marca 10mm.	873
	879
	890
	883
	878
	890
	885
	887
	889
	885

El valor promedio para la marca 0 mm es 24.2, y para la marca 10 mm es 883.9, por lo tanto, para calcular cualquier valor se deduce la siguiente ecuación:

$$X=10*(valor- 24.2)/(883.9 - 24.2). \tag{6.9}$$

Con la ecuación 6.9, se puede hallar el valor correspondiente a la medida en milímetros que se obtiene del sensor, por ejemplo si el valor que se obtiene del sensor es 550, el valor en mm para x es 6.11.

Para realizar un análisis comparativo de los resultados de la precipitación atmosférica registrada diariamente mediante el pluviógrafo convencional y el pluviógrafo electrónico diseñado, es necesario aplicar la prueba *T-Student*, ya que esta es una herramienta estadística que se utiliza para comparar dos grupos de datos para un número de muestras inferior a 30. Esta prueba fue desarrollada por William Gosset en 1908, y perfeccionada por Sir R. Fisher en 1926. Esta prueba permite determinar si existen diferencias significativas en las variables que analizan, para dos grupos, con individuos o muestras distintas (prueba T no pareada, puede ser distinto número de muestras) o cuando se tiene el mismo grupo evaluado, por ejemplo con un antes y después (prueba T pareado, igual número de muestras) [43]. Esta prueba es usada comúnmente para saber si un

instrumento de medición cualquiera está calibrado, desde el punto de vista de la exactitud [44].

La tabla 6.3, contiene dos series de datos para la medida de 100 ml de agua o equivalente a 5 mm, tomadas a partir de la observación sobre el papel, con $n=10$ muestras, este proceso se lleva a cabo para establecer si la medición obtenida por el software difiere significativamente o no, de la medida observada en el papel, con el fin de saber mediante el análisis estadístico si el instrumento esta calibrado, o para este caso de estudio si los datos obtenidos por el software son válidos para la medición de la pluviosidad.

Como se tiene dos series o grupos de datos a comparar, se establece que estos grupos son pareados, quiere decir que se obtiene el respectivo valor en cada instrumento, para un tiempo determinado.

Con el análisis de la prueba *T-Student*, se calcula un valor t y luego se compara con un valor para t de una tabla previamente diseñada para esta distribución, con lo que se determina si los grupos presentan diferencias significativas en sus mediciones.

$$t = \frac{\bar{d} - \mu}{\frac{\sigma d}{\sqrt{n}}}. \quad (6.10)$$

\bar{d} = Valor promedio o media aritmética de las diferencias entre los momentos antes y después. (mediciones antiguas, mediciones nuevas).

μ = Es la media poblacional.

σd = Desviación estándar de las diferencias entre los momentos antes y después.

n = Tamaño de la muestra.

Promedio de las diferencias:

$$\bar{d} = \sum \frac{x_{A^i} - x_{B^i}}{n}. \quad (6.11)$$

Desviación estándar de las diferencias:

$$\sigma d = \sqrt{\frac{1}{n-1} [\sum_{i=1}^n (di)^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n di)^2}{n}]}. \quad (6.12)$$

La prueba *T-Student* para pruebas pareadas parte de dos hipótesis, una hipótesis llamada la "hipótesis nula", y la otra la "hipótesis alternativa".

Para el caso de nuestro estudio:

Hipótesis nula (H_0): $\mu = 0$. Significa que se va a demostrar si las medias poblacionales μ_A (grupo A) = μ_B (grupo B). Las medidas realizadas con el pluviógrafo convencional y las medidas realizadas con el pluviógrafo electrónico no presentan diferencias significativas.

Hipótesis alternativa (H_a): $\mu \neq 0$. Caso contrario.

Cuando se usan estas hipótesis, se dice que el análisis es para dos colas, que significa que se evalúan los intervalos de rechazo de la hipótesis nula. Además se evalúan estos intervalos en la tabla de distribución de la prueba *T-Student*, la cual se indica en la sección de anexos.

Tabla 6.3 Mediciones obtenidas para una cantidad de agua de 100 ml (5 mm).

Número de datos (n)	Valor observado en el papel (mm). GrupoA.	Valor capturado por el Software (mm). GrupoB.	Diferencia GrupoA-GrupoB. di.
1	5.1	5.35	-0.25
2	5.15	5.02	0.13
3	4.95	5.12	-0.17
4	4.8	4.5	0.3
5	4.85	4.99	-0.14
6	5.15	5.27	-0.12
7	5.05	5.15	-0.1
8	5	5.24	-0.24
9	5	5.21	-0.21
10	5.1	5.28	-0.18
	$\bar{x}_A = 5.015$	$\bar{x}_B = 5.113$	$\bar{d} = -0.098 \text{ mm}$

$$\sigma d = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n (di)^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n di)^2}{n} \right]}. \quad (6.13)$$

$$\sigma d = \sqrt{\frac{1}{9} \left[0.3764 - \frac{(-0.98)^2}{10} \right]} = 1.765. \quad (6.14)$$

$$t = \frac{-0.098 - 0}{\frac{0.1765}{\sqrt{10}}} = -1.75. \quad (6.15)$$

El valor de t calculado es 1.75.

Para hallar en valor de t a partir de la tabla de la distribución, se calcula los grados de libertad que viene dada por la siguiente expresión:

$$gl = n - 1. \quad (6.16)$$

Con n igual al tamaño de la muestra.

Para poder decidir si las muestras se diferencian de forma significativa o no, se evaluó la probabilidad de aceptación o de rechazo de la hipótesis nula, que para el caso de estudio se selecciona el 95%, esto indica que se establece el 95% o (1-α), para aceptar que los dos sistemas de medida, (pluviógrafo convencional y pluviógrafo electrónico), no presentan diferencias significativas en sus mediciones (μ=0).

Nivel de significación.

Para todo valor de probabilidad igual o menor que 0.05, se rechaza *H₀* y se acepta *H_a*. (α = 0.05).

Zona de rechazo.

Para todo valor de probabilidad mayor que 0.05, se acepta *H₀* y se rechaza *H_a*.

- a. Si la $t_o(\text{calculada}) \geq t(\text{tabla})$ se rechaza H_o .
- b. Si la $P(t_o) \leq \alpha$ se rechaza H_o . ($P(t_o)$: probabilidad de la t_o calculada).

Usando la tabla que se encuentra en la sección de anexos, para 9 grados de libertad y $(1-\alpha)=0.95$, se obtiene el valor de $t(\text{tabla})= 1.833$.

Como la $t_o=1.75$ calculada es menor que $t(\text{tabla})=1.833$, establece que se acepta la hipótesis nula, quiere decir que los dos grupos de medidas realizadas por los dos instrumentos para un valor de 100 ml, no difieren significativamente, a fin de establecer si los dos instrumentos están calibrados uno respecto al otro, con lo que podemos concluir que los registros obtenidos a partir de los sistemas de medida no presentarían diferencias significativas gracias al análisis de la prueba *T-Student* para la calibración de los instrumentos.

6.1. PLUVIOGRAMAS OBTENIDOS.

Partiendo del punto en que los sistemas de medición se encuentran calibrados y no representan diferencias significativas para sus mediciones, la evaluación del sistema implementado se realiza mediante el análisis comparativo de los resultados obtenidos a partir de los 2 sistemas de medida de la precipitación atmosférica que se ubican en la zona de estudio. El primer sistema es el pluviógrafo electrónico y el segundo es el pluviógrafo tipo Hellman de sifón automático. Existe un tercer sistema de medición, que es la estación meteorológica Davis Vantage Pro 2 Plus inalámbrica que se comentará más adelante.

A continuación se presentan dos pluviogramas (Figura 6.7 y Figura 6.8), generados a partir de los dos instrumentos (pluviógrafo electrónico, pluviógrafo convencional), para las fechas comprendidas entre el miércoles 20 de Octubre de 2010 y el 25 de Octubre de 2010.

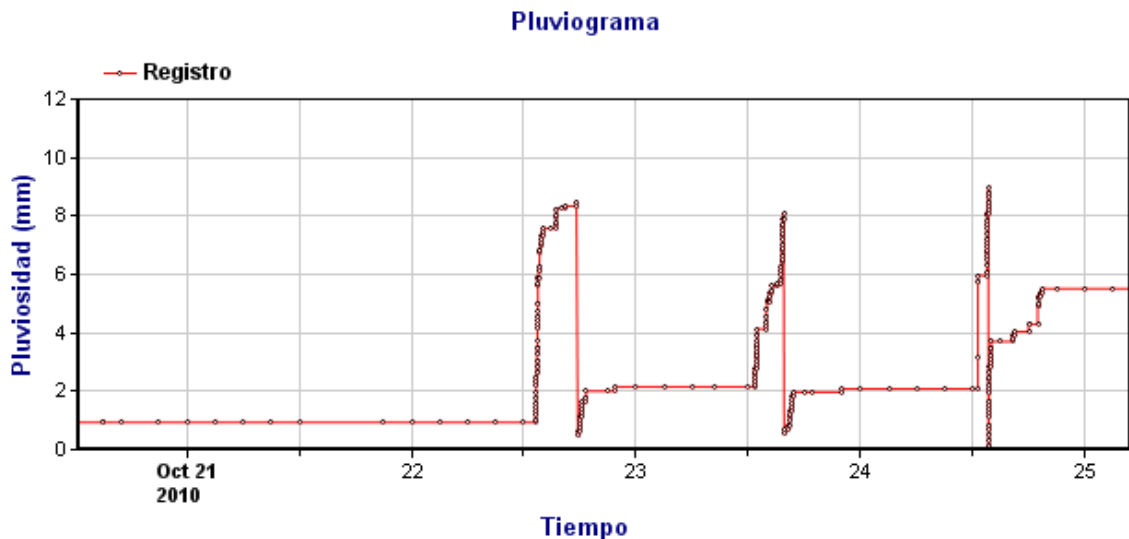


Figura 6.7 Pluviograma obtenido con Pluviógrafo Electrónico.

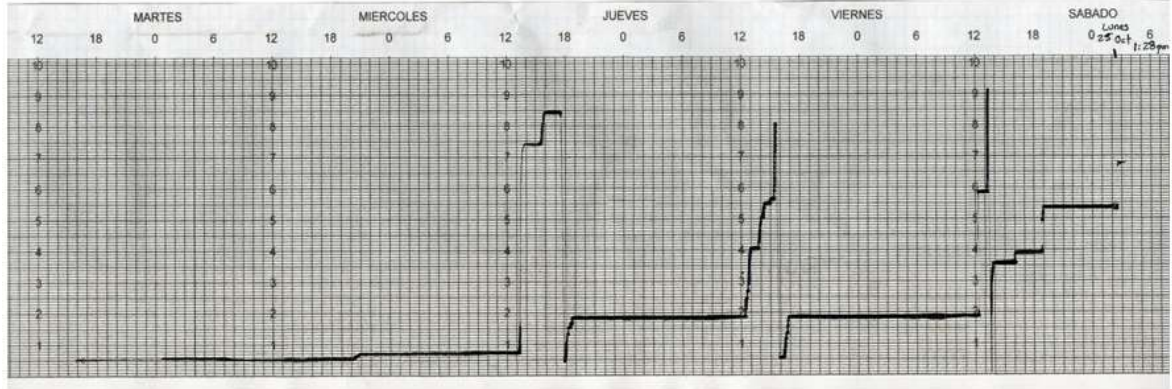


Figura 6.8 Pluviograma obtenido con Pluviógrafo tipo Hellman de sifón Automático.

La tabla 6.4, presenta los valores más representativos que se obtiene de los dos pluviogramas, se extraen los datos de forma visual del pluviograma obtenido por el pluviógrafo tipo Hellman, y se extraen los valores correspondientes de la base de datos para el pluviograma obtenido por el pluviógrafo electrónico.

Tabla 6.4 Valores obtenidos de los pluviogramas de los dos instrumentos.

Número de datos.	Valor observado en el papel (mm). A	Valor capturado por el Software (mm). B	Diferencia A-B.
1	0.5	0.93	-0.43
2	0.7	0.93	-0.23
3	0.7	0.93	-0.23
4	7.4	7.57	-0.17
5	7.9	8.2	-0.3
6	0.4	0.51	-0.11
7	1.85	2	-0.15
8	1.85	2.15	-0.3
9	4.05	4.13	-0.08
10	5.5	5.59	-0.09
11	8.05	8.06	-0.01
12	0.55	0.58	-0.03
13	1.85	1.97	-0.12
14	1.9	2.08	-0.18
15	5.85	5.96	-0.11
16	9.1	8.96	0.14
17	0.1	0.11	-0.01
18	3.55	3.7	-0.15
19	3.9	4.04	-0.14
20	3.9	4.29	-0.39
21	5.4	5.51	-0.11
			$\bar{d} = -0.1524$

El promedio de la diferencia de los dos registros es de 0.1524 mm y con desviación estándar de 0.13172. Esto indica que los dos registros difieren en 0.1524 mm \pm 0.13172.

Para observar de una forma más apreciativa la diferencia de los dos pluviogramas, la figura 6.9 presenta la superposición de las dos gráficas.

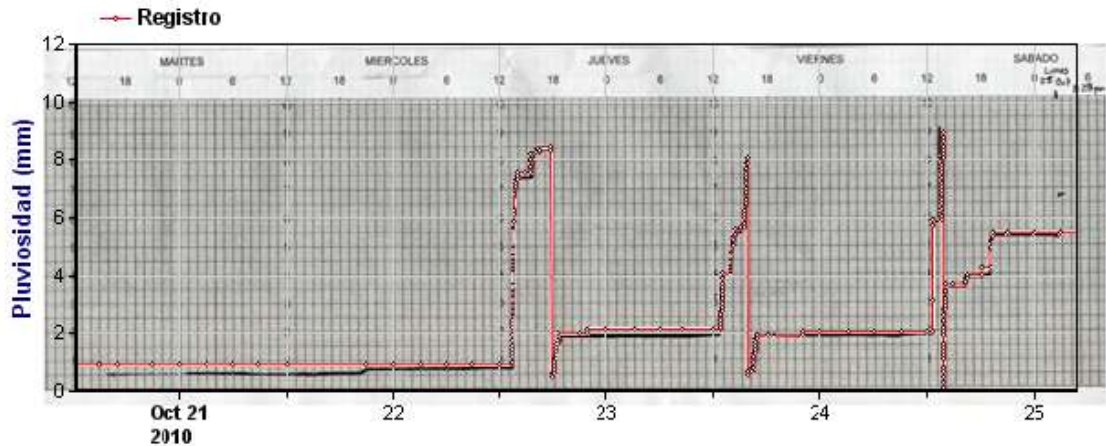


Figura 6.9 Superposición de los dos pluviogramas.

Del anterior análisis se concluye que el pluviógrafo electrónico realiza una marcación similar ala que produce el pluviógrafo convencional, y a partir de estos registros podemos determinar la pluviosidad que se registra en un determinado intervalo de tiempo.

A continuación se presentan los resultados que se extraen de los dos pluviogramas. Para el pluviograma del pluviógrafo tipo Hellman se extrae la información de forma visual, y para el pluviograma del pluviógrafo electrónico se toman los valores que arroja el software diseñado. Estas mediciones hacen referencia al rango de tiempo comprendido desde el día miércoles 20 de Octubre de 2010 desde las 16 horas (4 pm), y el día lunes 25 de octubre de 2010 hasta las 13 horas (1 pm).

Análisis aplicado al Registro obtenido por el Pluviógrafo tipo Hellman.

Se construye la tabla 6.5 que indica el número de lluvias con las fechas correspondientes que indican la actividad del fenómeno, la duración, la cantidad de agua de cada lluvia, la intensidad y la categoría de la lluvia.

Tabla 6.5 Tabla de lluvias observadas en el registro del pluviógrafo Hellman.

Nº.	Tiempo de inicio (d-m-a h:m:s)	Tiempo de finalización (d-m-a h:m:s)	Duración (h:m:s)	Pluviosidad Total (mm)
1	21-oct-2010 20:30:00	21-oct-2010 21:00:00	00:30:00	0.2
2	22-oct-2010 13:15:00	22-oct-2010 13:45:00	00:30:00	6.7
3	22-oct-2010 15:30:00	22-oct-2010 16:00:00	00:30:00	1
4	22-oct-2010 17:30:00	22-oct-2010 18:30:00	1:00:00	1.4
5	23-oct-2010 12:30:00	23-oct-2010 13:00:00	00:30:00	2.1
6	23-oct-2010 13:45:00	23-oct-2010 17:00:00	3:15:00	5.3
7	24-oct-2010 12:15:00	24-oct-2010 12:15:00	00:00:00	3.9
8	24-oct-2010 13:15:00	24-oct-2010 15:45:00	2:30:00	6.6
9	24-oct-2010 16:00:00	24-oct-2010 16:00:00	00:00:00	0.4
10	24-oct-2010 18:45:00	24-oct-2010 19:00:00	00:15:00	1.4

De la tabla anterior se obtiene la pluviosidad total, mediante la suma de las cantidades de agua registrada para cada lluvia, dando como resultado la pluviosidad total observada en el registro (29 mm), debido a la dificultad para observar sobre el papel el rango de tiempo de la lluvia número 7 y 9, se entendería que el tiempo de la duración de la lluvia estaría entre 0 a 15 minutos.

Si se selecciona una lluvia para estudiar su comportamiento a fin de comparar el resultado con el obtenido por el software, se construye la tabla 6.6 que contiene la información extraída para una lluvia seleccionada, (lluvia 6 de la tabla 6.5). La figura 6.10 es la ampliación del pluviograma para la lluvia en estudio, y el intervalo entre una línea vertical roja y una azul, indica un tiempo de 15 minutos (una cuadrícula del papel representa 0.1 mm de lluvia por 1 hora).

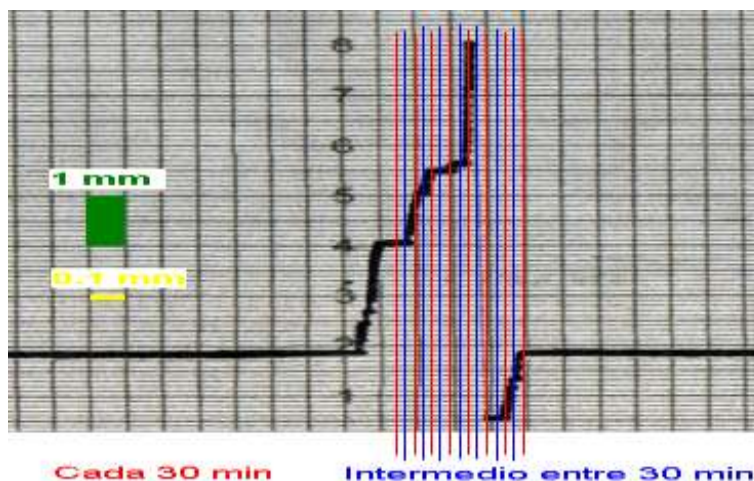


Figura 6.10 Ampliación del pluviograma para la lluvia en estudio.

Tabla 6.6 Información de Pluviosidad para una lluvia aislada.

Tiempo (h:m:s)	Precipitación (mm)	Precipitación Acumulada (mm)
13:45:00	0	0
14:00:00	0.9	0.9
14:15:00	0.2	1.1
14:30:00	0.7	1.8
14:45:00	0.1	1.9
15:00:00	0.1	2
15:15:00	0.1	2.1
15:30:00	1.8	3.9
15:45:00	0.6	4.5
16:00:00	0.1	4.6
16:15:00	0.1	4.7
16:30:00	0.3	5
16:45:00	0.8	5.8
17:00:00	0.4	6.2

Además, la categoría de precipitación está dividida en ocho campos de acuerdo a la precipitación diaria en milímetros por metro cuadrado según lo establecido por el IDEAM. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia) (Tabla 6.7) [45].

Tabla 6.7 Categorías de pluviosidad IDEAM.

Categoría.	Acumulación en 1 hora.
Sin lluvia (tiempo seco).	0 mm.
Posible llovizna.	0.1 – 1 mm.
Llovizna.	1.1 – 5 mm.
Lluvia ligera.	5.1 – 10 mm.
Lluvia moderada.	10.1 – 20 mm.
Lluvia fuerte.	20.1 – 40 mm.
Lluvia Muy Fuerte.	40.1 – 60 mm.
Lluvia Intensa.	> 60.1 mm.

En relación a la información para la valoración de las lluvias presentado en la sección de “Interpretación de los datos de precipitación” del capítulo 1, se toma el valor correspondiente a la intensidad máxima de la lluvia de acuerdo a los 15 minutos de acuerdo a precipitación acumulada por 1 hora. La tabla 6.8 indica el hietograma de intensidades.

Tabla 6.8 Hietograma de Intensidades.

Tiempo (h:m:s)	Intensidad (mm/h).
13:45:00	3.6
14:00:00	0.8
14:15:00	2.8
14:30:00	0.4
14:45:00	0.4
15:00:00	0.4
15:15:00	7.2
15:30:00	2.4
15:45:00	0.4
16:00:00	0.4
16:15:00	1.2
16:30:00	3.2
16:45:00	1.6
17:00:00	3.6

Graficando la información de la tabla 6.6, Precipitación vs Tiempo, se obtiene el gráfico Hietograma de alturas de Precipitación, asociado a la lluvia (Figura 6.11).

Hietograma de Precipitación. (Dt = 15 min).

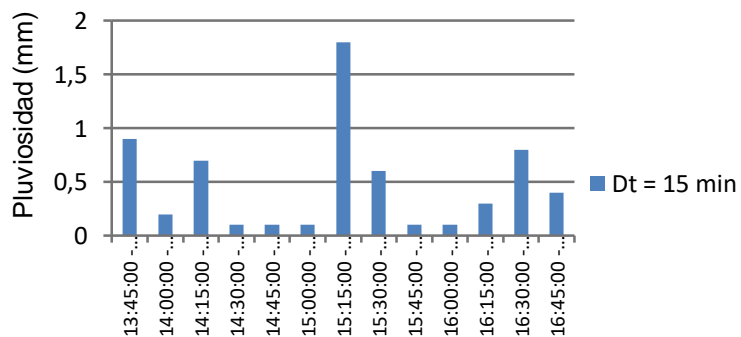


Figura 6.11 Hietograma de precipitación.

Con la información de la tabla 6.6, Precipitación acumulada vs Tiempo, se obtiene el gráfico *Curva masa de Precipitación* (Figura 6.12).

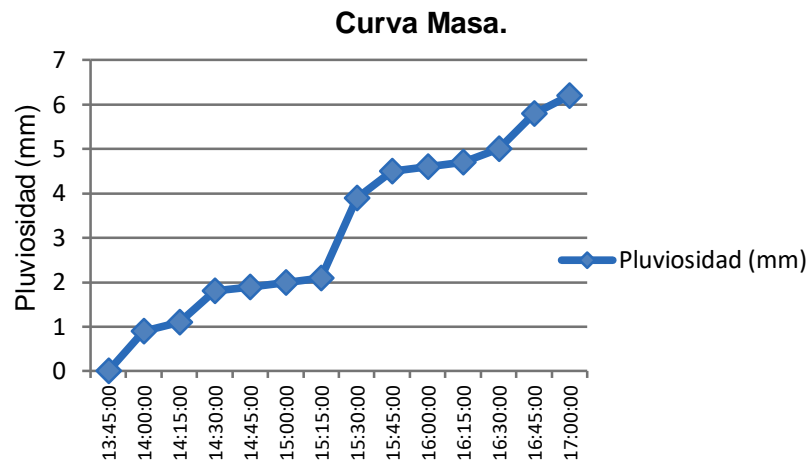


Figura 6.12 Curva masa de precipitación.

Se obtiene el gráfico *Hietograma de Intensidades* (Figura 6.13), Intensidad vs Tiempo, a partir de la información de la tabla 6.7.

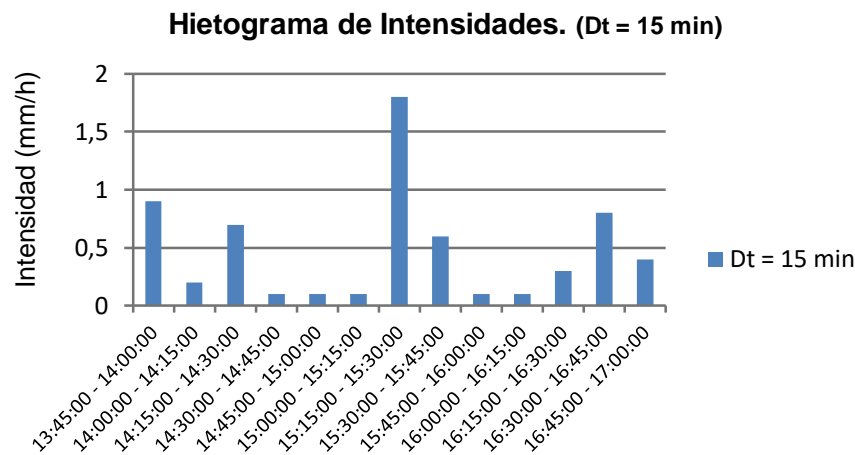


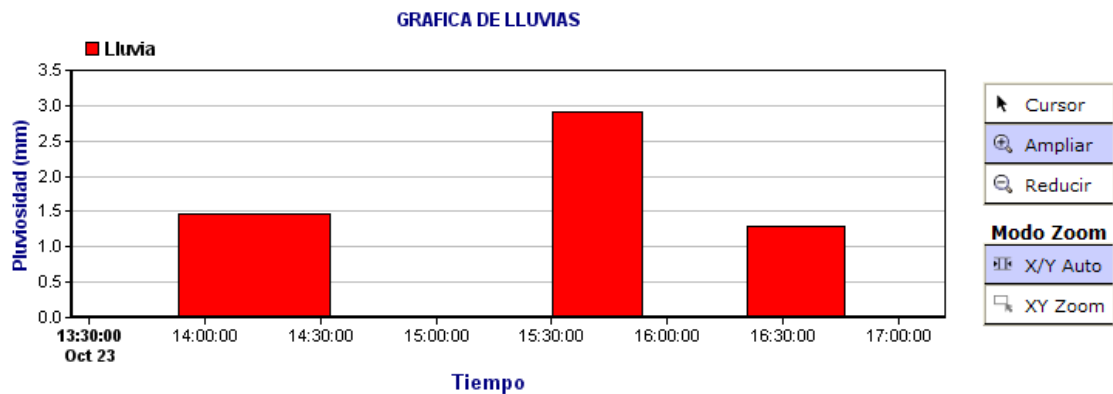
Figura 6.13 Hietograma de intensidades.

La pluviosidad de la lluvia es 6.2 mm con una intensidad instantánea máxima de 7.5mm/h.

Análisis obtenido por el Pluviógrafo Electrónico.

La figura 6.14, muestra las características de la pluviosidad en el rango de tiempo que hace referencia a la lluvia del análisis de pluviograma anterior (13:45:00 – 17:00:00 del día 23 de octubre de 2010). La grafica presentada se llamada "Gráfica de Lluvias", que indica la distribución de las lluvias en el eje del tiempo. La lluvia se ubicada con respecto a la fecha de inicio y fecha de finalización, además de indicar la pluviosidad acumulada de la lluvia. La tabla que se presenta en la parte inferior del gráfico informa las características de las lluvias, donde el campo "Id" significa el identificador de lluvia, el campo "fecha Inicial" y "fecha final", indican el rango de tiempo en que ocurre la lluvia; el campo "Duración", indica la duración en formato "hora : minuto : segundo"; el campo "Pluviosidad", indica la cantidad total de agua que se obtiene de la lluvia medida en

milímetros, también indica la intensidad de la lluvia (campo "Intensidad"), el campo "Categoría", y el campo de "Enlace", es un vínculo hacia una página que presenta información más detallada respecto a una lluvia.



Id	Fecha Inicial	Fecha Final	Duración	Pluviosidad(mm)	Intensidad (mm/min)	Categoría	Enlace
53	2010-10-23 13:53:06	2010-10-23 14:32:20	00:39:14	1.46	12.8	Moderada	Ver Registro
54	2010-10-23 15:30:23	2010-10-23 15:53:32	00:23:09	2.9	30	Fuerte	Ver Registro
55	2010-10-23 16:20:46	2010-10-23 16:46:11	00:25:25	1.29	26.8	Fuerte	Ver Registro

Figura 6.14 Grafica de lluvias obtenida por el pluviógrafo electrónico para el rango de tiempo (13:45:00 – 17:00:00 del día 23 de octubre de 2010).

Se observa a partir del gráfico que en el rango de tiempo específico, se detectan 3 lluvias, a diferencia de la apreciación del pluviograma convencional que establece la marcación como una sola lluvia. El software detecta el inicio y finalización de una lluvia, si al transcurrir un tiempo de 10 minutos no cae lluvia, este valor puede ser modificado en la configuración del software. La precipitación acumulada para estas 3 lluvias es 5.65 mm de en el intervalo de tiempo correspondiente a la lluvia analizada para el pluviograma del pluviógrafo tipo Hellman, dando como resultado un valor de 6,2 mm. La diferencia entre estos dos resultados (0.55 mm), se debe principalmente al error en la extracción de datos del pluviograma convencional.

El resultado del análisis generado por el software y aplicado a una lluvia específica (una de las 3 detectadas), se muestra en la figura 6.14, generando la curva masa, el hietograma de precipitación y el de intensidades, además es posible generar la curva Intensidad-Duración.

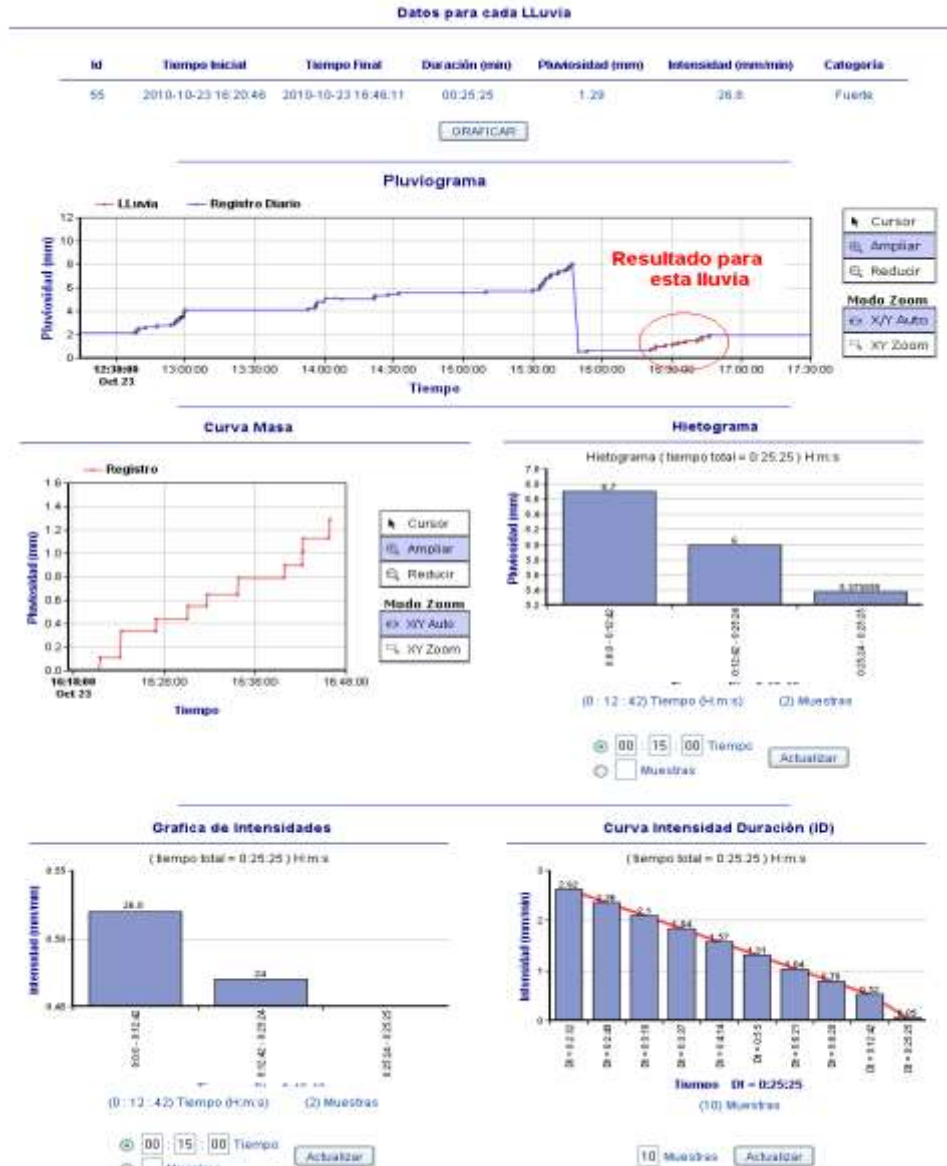


Figura 6.15 Resultados del análisis aplicado a una lluvia obtenido por el Pluviógrafo Electrónico.

6.2. ESTACIÓN DAVIS VANTAGE PRO2 PLUS.

Debido a que la estación meteorológica a cargo del departamento Hidráulica e Hidrología de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca, posee un instrumento de medición de variables ambientales de marca Davis Vantage Pro2 Plus inalámbrica (Figura 6.16), cuyo instrumento puede efectuar medidas de temperatura, humedad, precipitación, velocidad del viento, radiación solar, y otras [46], se convierte en una fuente importante de información para efectuar comparaciones de la pluviosidad registrada en la zona.



*Figura 6.16 Estación Meteorológica Davis Vantage Pro2 Plus Inalámbrica.
(Fuente: Davis Instruments Corp).*

Con la Estación meteorológica Davis Vantage Pro2 plus inalámbricas, se transmiten y reciben datos a una distancia de hasta 300 metros en línea de vista, La estación meteorológica Vantage Pro2 Plus, permite recopilar mediciones de diferentes variables climáticas como son:

- Presión barométrica.
- Humedad interior y exterior.
- Temperatura interior y exterior.
- Nivel de Lluvia.
- Velocidad y dirección del viento.
- Fase lunar.
- Lluvia.
- Horas de amanecer y atardecer.

Con la estación Davis Vantage Pro2 Plus inalámbrico se puede obtener pronósticos en la pantalla, un conjunto integrado de sensores exteriores en un mismo paquete, hacen que la configuración sea más fácil, mejorando el rendimiento y la confiabilidad en la información. Los sensores del pluviómetro, anemómetro, temperatura, humedad, radiación solar y UV están todos incluidos. Para una mayor fiabilidad y precisión, los sensores de temperatura y humedad se ubican dentro del protector solar. Éste protege a los sensores tanto de la radiación solar como de otras fuentes de calor irradiado y reflejado.

La estación Davis Vantage Pro 2 Plus para la captura de datos de la variable de precipitación utiliza un pluviómetro tipo balancín, mostrado en la figura 6.17, que al efectuar una oscilación, generan movimiento que acciona un sensor tipo pulsador, este dato es enviado al transmisor del pluviómetro para su posterior envío de este dato a la consola remota del la estación Davis Vantage Pro 2 Plus.



*Figura 6.17 Pluviómetro tipo balancín u oscilatorio de la estación meteorológica Davis.
(Fuente: <http://www.drylinemedia.com/>).*

6.3. SISTEMA DE INFORMACIÓN REGIONAL DEL AGUA.

La implementación de un software de monitoreo aplicado a la estación meteorológica Davis, diseñado por el Grupo de Estudios Ambientales (GEA) de la Universidad de Cauca, mediante el Sistema de Información Regional del Agua, constituida como una herramienta tecnológica de acceso público, hace posible acceder a la información de los parámetros ambientales de la estación Davis Vantage Pro2 Plus, desde la red internet. [47]. Este sistema de información se encuentra en construcción, es un sistema de información muy completo debido a que dispone de una red de estaciones meteorológicas tipo Davis para múltiples variables climatológicas. La figura 6.18 presenta la información de la precipitación que afecta la zona de la estación meteorológica. Se observa que la cantidad total de agua caída el día anterior es de 19.3 mm y que el valor hasta la fecha de observación es de 19.3 mm. Las gráficas se actualizan cada 20 minutos.



Figura 6.18 Gráfica de Precipitación Acumulada presentada por el Sistema de Información Regional del Agua para la fecha (actualización 17-Nov-2010 9:07:02) para estación Davis ubicada en la zona de estudio.

(Fuente: <http://mva.unicauca.edu.co/moduloambiental/EstacionServlet>).

La pluviosidad extraída del gráfico (Figura 6.18), registrado por el Sistema de Regional del Agua (SIRA) para el día 17 de noviembre entre las 4:00 am y las 8:00 am es de 11 mm, y la pluviosidad total registrada para la fecha del 17 de noviembre es de 29.2 mm y se presenta en la gráfica correspondiente al día siguiente (Figura 6.19).



Figura 6.19 Gráfica de Precipitación Acumulada presentada por el Sistema de Información Regional del Agua para la fecha (actualización 18-Nov-2010 8:56:02) para estación Davis ubicada en la zona de estudio.

El registro asociado a la fecha 17 de noviembre obtenido del Pluviógrafo Electrónico se muestra en la figura 6.20 (Pluviograma de color azul), y tomando desde la hora 4:00 am a 8:00 am, se obtiene el resultado del Pluviograma en color rojo, la Curva Masa de precipitación y el gráfico de Hietograma para un $\Delta t = 18$ minutos con 13 segundos.

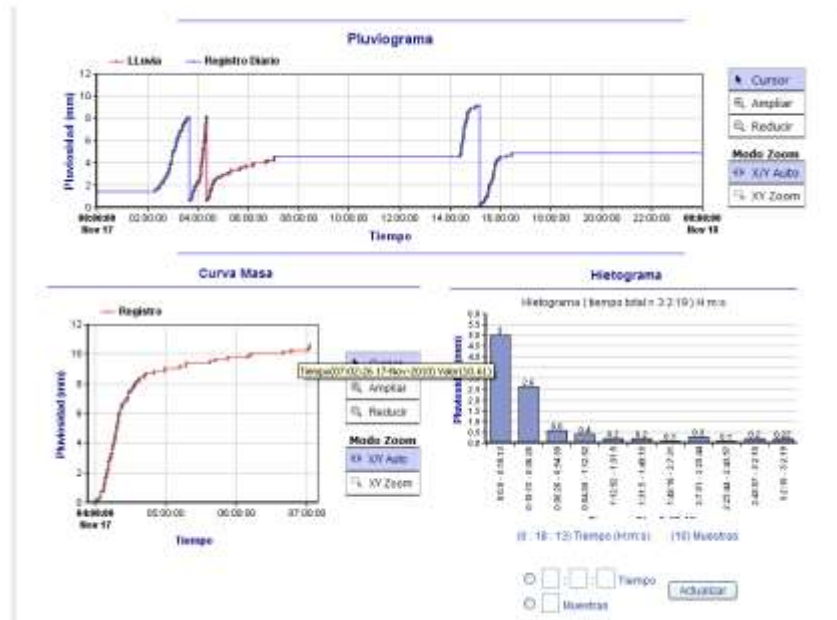


Figura 6.20 Pluviograma, Curva Masa y Hietograma, obtenidos del software del Pluviógrafo Electrónico para la fecha comprendida entre 4:00 am y 8:00 am del día 17 de Noviembre de 2010.

La pluviosidad extraída del gráfico Curva Masa (Figura 6.20), registrado por el Pluviógrafo Electrónico para el día 17 de noviembre entre las 4:00 am y las 8:00 am es de 10.61 mm, y la pluviosidad total registrada para la fecha del 17 de noviembre es de 28.81 mm y se presenta en la gráfica de la figura 6.21.

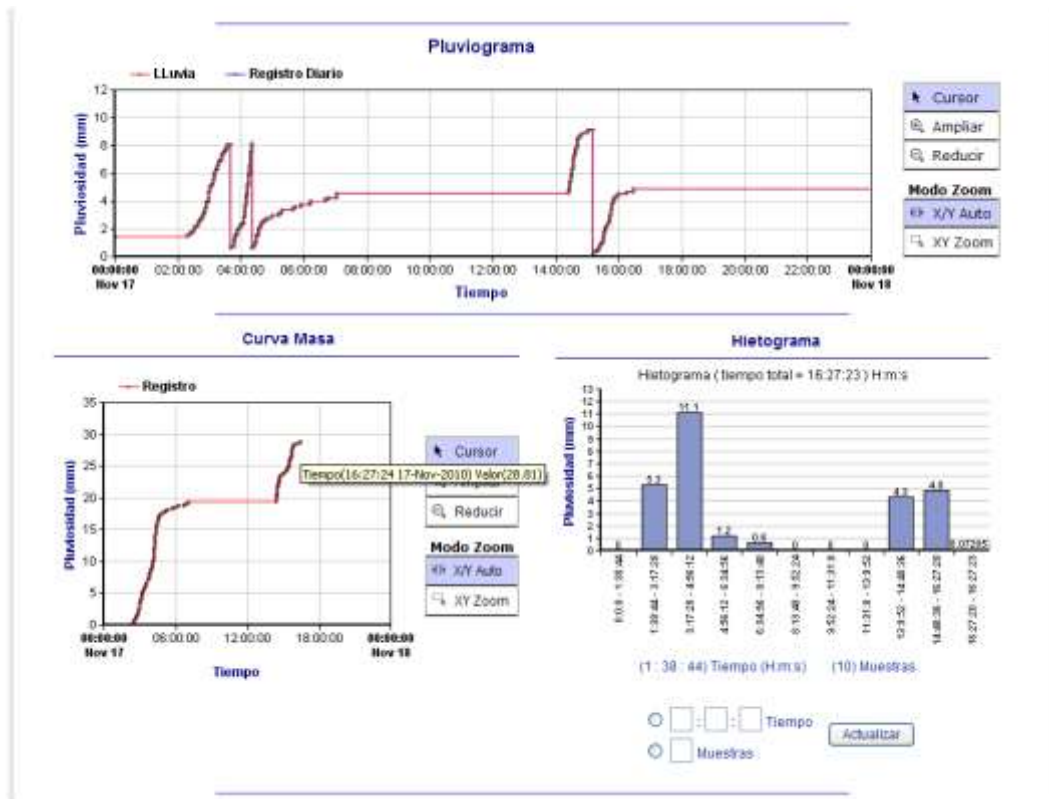


Figura 6.21 Pluviograma, Curva Masa y Hietograma obtenidos del software del Pluviógrafo Electrónico para la fecha comprendida entre 00:00:00 y 23:59:59 del día 17 de Noviembre de 2010.

Y el pluviograma obtenido por el Pluviógrafo tipo Hellman de forma convencional, se indica en la figura 6.22 para la fecha comprendida entre el día 15 de noviembre y el día 19 de noviembre.

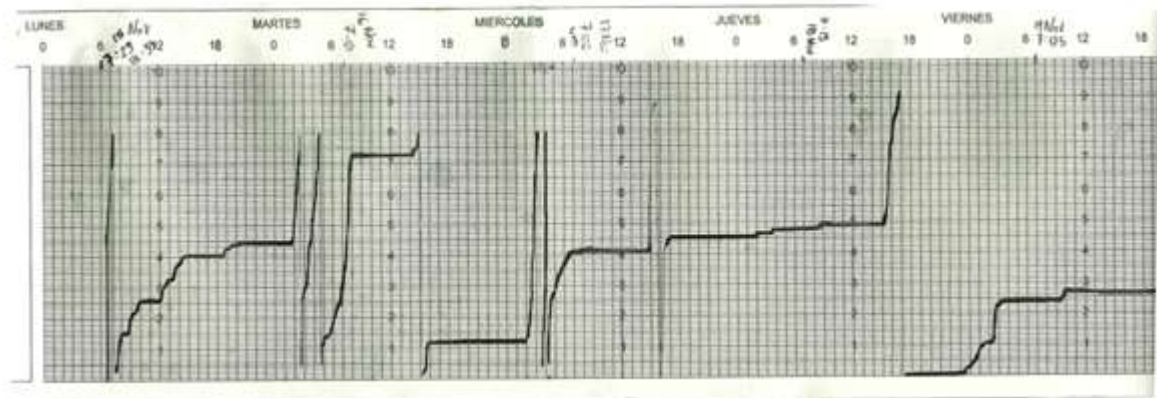


Figura 6.22 Pluviograma obtenido por el Pluviógrafo Hellman de Sifón automático.

La pluviosidad extraída del gráfico de la figura 6.23, registrado por el Pluviógrafo Hellman de Sifón Automático para el día 17 de noviembre entre las 4:00 am y las 8:00 am es de 10mm, y la pluviosidad total registrada para la fecha del 17 de noviembre es de 28.5 mm y se presenta en la gráfica de la figura 6.23.

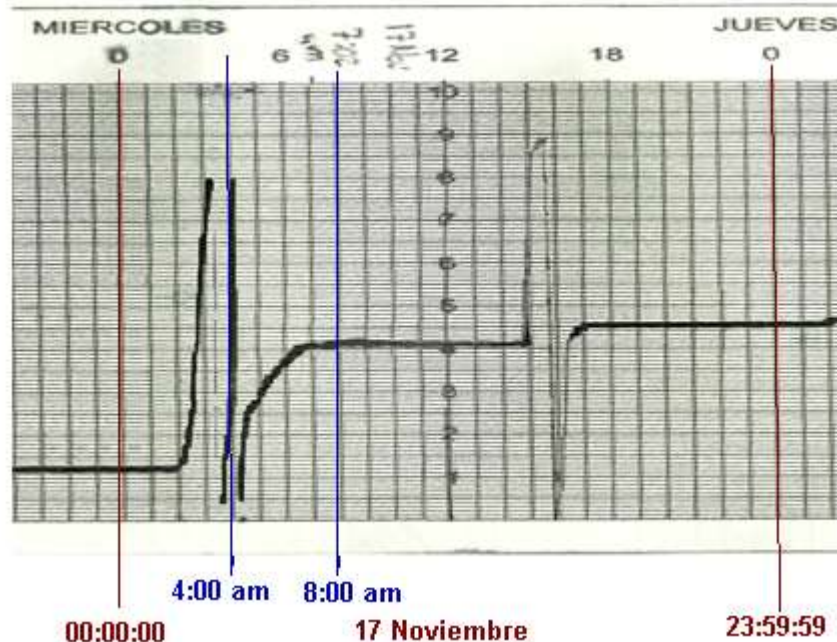


Figura 6.23 Pluviograma obtenido por el Pluviógrafo Hellman de Sifón automático para la fecha comprendida entre 00:00:00 y 23:59:59 del día 17 de Noviembre de 2010.

Los resultados obtenidos del sistema del Pluviógrafo Electrónico se ajustan de manera significativa a los resultados de los otros dos instrumentos de la estación meteorológica, con la continuación de mejoras al proyecto pueden generar mejores resultados y se puede pensar en la estandarización del proceso para los pluviómetros tipo Hellman de sifón automático.

6.4. APORTES DEL PROYECTO.

- Uno de los aportes más importantes que se logra con el desarrollo de este proyecto, es la puesta en marcha del sistema de medida de la precipitación atmosférica mediante el uso de un pluviómetro tipo Hellman de sifón automático, debido a que este instrumento se encontraba fuera de funcionamiento a causa del deterioro en sus partes internas, adicionalmente con la adaptación de los elementos electrónicos se mejoran las condiciones de uso del pluviómetro posibilitando el almacenamiento los datos para generar los pluviogramas históricos y poder extraer la información a partir de estos gráficos, identificando las características de pluviosidad en la zona, como tiempo entre lluvias, cantidades totales de pluviosidad de cada lluvia o totales de pluviosidad en el día, en el mes o en el año, representando los resultados en forma gráfica para su fácil comprensión.
- El diseño implementado para la transmisión de la información del pluviómetro hacia el equipo de almacenamiento, hace uso de tecnología que opera bajo las funciones de las redes Ethernet, compatible con sus versiones, de esta forma posibilita la adición de nuevos sensores para variables climatológicas y que pueden ser instalados en la proximidad de la estación meteorológica, mediante el uso de tarjetas electrónicas (circuito electrónico) o similares a la que se presenta

en este trabajo, con la finalidad de establecer una comunicación entre los sensores y los dispositivos inalámbricos, de esta forma se logra enviar múltiples señales de diversos sensores a través del mismo canal de comunicación. La ventaja que presenta el uso de tipo de dispositivos inalámbricos (Router o AccessPoint), es que son elementos que se encuentran fácilmente en el mercado y por consiguiente establece un punto importante para la instalación de múltiples estaciones meteorológicas para múltiples sensores, y en especial a un bajo costo.

- La información de la precipitación atmosférica obtenida con el pluviógrafo electrónico diseñado, se encuentra disponible en una página Web donde se presenta el estado de lluvia actual en el pluviógrafo, además de permitir la consulta de sus datos históricos. Con esta herramienta informática el usuario puede extraer información de las lluvias, de acuerdo a los análisis que se aplican a los pluviogramas de precipitación, obteniendo así información más detallada de las lluvias que afectan la zona.

7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.

7.1. CONCLUSIONES.

- La adaptación del circuito electrónico, la instalación de dispositivos de transmisión inalámbrica y el diseño de una aplicación software, posibilita la mejorar los procesos de funcionamiento y calidad de información que se obtiene de este instrumento, además la información puede ser consultada en la red Internet para datos actuales (hora actual en segundos) y para datos históricos (por días, meses o años).
- Las mediciones de la precipitación atmosférica obtenida por los dos instrumentos (pluviógrafo Hellman y el pluviógrafo electrónico diseñado), generan pluviogramas que al compararlos entre sí, no establecen diferencias significativas, teniendo en cuenta la calibración aplicada a los dos instrumentos mediante el análisis estadístico de la prueba *T-Student*, bajo un margen de aceptación del 90% (1- α).
- El pluviógrafo y pluviómetro, poseen características de funcionamiento similares en cuanto a su sistema de medición mecánica, la diferencia radica en la presentación de la información. Los pluviómetros totalizan la cantidad de lluvia ya sea por días, meses o años, y el pluviógrafo describe el comportamiento de la lluvia en función del tiempo. Si se realizan mediciones con un pluviómetro usando un tiempo de muestreo muy pequeño (segundos), este instrumento se puede decir que presentaría un comportamiento similar a un pluviógrafo.
- El uso de una herramienta software aplicada al análisis de la información de pluviogramas, hace parte de la innovación que se obtiene en el proyecto, ya que los procesos necesarios para la interpretación de los datos que antes se realizaban manualmente, ahora se realizan de forma automática, rápida e instantánea, además se realizan diversos análisis con respecto a las lluvias presentes en la zona, las cuales pueden ser fuente de información para realizar numerosos cálculos a partir de estos registros, aplicados a áreas de la investigación.

7.2. TRABAJOS FUTUROS.

- Continuar la evolución de la aplicación software. Existen numerosas aplicaciones para las cuales se extrae información de los pluviogramas, mediante la creación de nuevos desarrollos en la aplicación software, y partiendo desde el punto teórico de los cálculos, se pensaría en el desarrollo de calculadoras para análisis de datos enfocada a áreas de diseño, por ejemplo una calculadora para determinar la dimensión de los tubos requeridos en una instalación de alcantarillado para aguas lluvia en una zona, partiendo de pluviogramas de la zona, coeficientes de escorrentía, curvas IDF (Intensidad – Duración - Frecuencia), etc. También se puede desarrollar una calculadora de niveles de caudales para zonas cercanas a la ubicación de la estación pluviográfica, o también para estimar las condiciones de pluviosidad para cultivos de gran extensión, por lo tanto existe un gran número de aplicaciones que hacen uso de los datos de la pluviosidad a partir de los registros de los pluviógrafos con los cuales se puede dar nuevos usos a la herramienta software del pluviógrafo.

- Evaluar nuevos procesos para el almacenamiento de la información para pluviógrafos ubicados en zonas de difícil acceso. Se podría pensar en el uso de memorias USB, que son difundidas masivamente en la actualidad para lograr almacenar la información para varios días o semanas, y que posteriormente se analizarían por la herramienta software diseñada.
- Mejorar el sistema de alimentación de energía eléctrica con el propósito de adicionar baterías que independicen la conexión al fluido eléctrico tipo residencial o evaluar otras técnicas para la transmisión de la información con el propósito de mejorar el consumo de energía.
- Implementar técnicas para la seguridad de la página Web. La expansión de la red Internet y al aumento de software malintencionado crea la necesidad implementar técnicas de encriptación para los datos, u otra técnica de filtrado o bloqueo que sean capaces de garantizar envío de información de forma segura en la red tanto para el equipo servidor de la aplicación Web, como para el usuario que solicita la información.

8. BIBLIOGRAFÍA.

- [1]. Organización Meteorológica Mundial, "Measurement of hydrological variables," 2010. Disponible: http://www.wmo.int/pages/themes/water/index_en.html. [Acceso: Mayo, 2010].
- [2]. M. C. Flavie Mandel, "La mesure de la hauteur des précipitations," Diciembre, 2008. Disponible: <http://comprendre.meteofrance.com/content/2009/1/20343-48.pdf>. [Acceso: Agosto 1, 2010].
- [3]. I. Estal Aparicio, "El Pluviómetro Hellman," Disponible: <http://www.divulgameteo.es/uploads/Pluvi%C3%B3metro-Hellmann.pdf>. [Acceso: Agosto 1, 2010].
- [4]. F. J. Aparicio Mijares, "Fundamentos de Hidrología de Superficie," México, 2005.
- [5]. L. Lladó Teixidó, M. Fabra Hernández, y C. Gutiérrez Marín, "Atlas temático meteorología," España: Barcelona, 1997.
- [6]. N. Carrero, "El Pluviógrafo," Mayo, 2008. Disponible: <http://www.wimois09.blogspot.com/2008/05/el-pluviografo.html>. [Acceso: Agosto 3, 2010].
- [7]. R. Derpsch, "Understanding The Process of Water Infiltration," 2004. Disponible: <http://www.docstoc.com/docs/21078644/UNDERSTANDING-THE-PROCESS-OF-SOIL-EROSION>. [Acceso: 2 Agosto, 2010].
- [8]. L. E. Maderey Rascón, y A. Jiménez Román, "Principios de Hidrogeografía. Estudio del Ciclo Hidrológico," *Universidad Nacional Autónoma de México*, México, 2005.
- [9]. Pluviógrafo Modelo TS 1221, Argentina: TECMESS. R.L. Disponible: <http://www.tecmes.com/TS%201221.pdf>. [Acceso: Noviembre 10, 2009]
- [10]. Electronic Pluviograph Modelo PLV 3-37. Turquía: AkimHydrometry Ltd. Disponible: <http://www.pluviograph.com/>. [Acceso: Mayo 5, 2010].
- [11]. A. Garcia, "Hietogramas de Diseño en Zonas Urbanas", *Tesis, Universidad Autónoma Metropolitana*, México, Noviembre 2006.
- [12]. J. F. Ruiz Murcia, "¿Cómo Interpretar los modelos de lo pronóstico del estado del tiempo?," *Subdirección de meteorología (IDEAM)*, Colombia. Disponible: http://bart.ideam.gov.co/wrfideam/GUIA_MODELOS.pdf. [Acceso: 2 Agosto, 2010].
- [13]. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), "Manual Del Observador Meteorológico," Medellín, Colombia, diciembre de 2001. Disponible: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/colom.pdf>, [Acceso 2 Agosto 2010].
- [14]. Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), "Predicciones Meteorológicas – Interpretación," España. Disponible: http://www.aemet.es/documentos/es/eltiempo/prediccion/comun/prediccion_interpretacion.pdf, [Acceso: 2 Agosto 2010].
- [15]. Microchip Technology Inc, "PIC18FXX2 Data Sheet," 2006. Disponible: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39564c.pdf>. [Acceso: Julio, 2010].
- [16]. Microchip Technology Inc, "The Microchip TCP/IP Stack," Arizona, USA, 2002. Disponible: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00833c.pdf>. [Acceso: Marzo 12, 2010].
- [17]. J. Postel, "Internet Protocol - DARPA Internet Program Protocol Specification," *RFC791, Universidad del Sur de California / Instituto de Ciencias de la Información*, Septiembre 1981. (Versión en español por P.J. Ponce de León: "Protocolo Internet," Mayo 1999).
- [18]. J. Postel, "Internet Control Message Protocol - DARPA Internet Program Protocol Specification," *RFC792, Universidad del Sur de California / Instituto de Ciencias de*

- la Información*, Septiembre 1981. (Versión en español por P.J. Ponce de León, D. Sanchez: "Protocolo de Mensajes de Control Internet," Abril 2000).
- [19]. J. Postel, "Transmission Control Protocol - DARPA Internet Program Protocol Specification," *RFC793*, *Universidad del Sur de California / Instituto de Ciencias de la Información*, Septiembre 1981. (Versión en español por P.J. Ponce de León, D. Sanchez, J. I. Usera: "Protocolo de Control de Transmisión," Marzo 2002).
- [20]. J. Postel, "User Datagram Protocol - DARPA Internet Program Protocol Specification," *RFC768*, *Universidad del Sur de California / Instituto de Ciencias de la Información*, Agosto 1981. (Versión en español por D. Sanchez: "Protocolo Datagramas de Usuario," Diciembre 1999).
- [21]. R. Droms, "Dynamic Host Configuration Protocol," *RFC2131*, *Bucknell University*, Marzo 1997.
- [22]. R. Fielding, J. Gettys, J. Mogul, and T. Berners-Lee, "Hypertext Transfer Protocol - HTTP/1.1," *RFC2616*, Junio 1999.
- [23]. J. Postel, J. Reinolds, "File Transfer Protocol," *RFC959*, *Universidad del Sur de California / Instituto de Ciencias de la Información*, Octubre, 1985. (Versión en español por J. Gonzalo: "Protocolo de Transferencia de Archivos," Febrero 2000).
- [24]. Realtek Semiconductor Corp, "RTL8019AS," Hsinchu, Taiwan, 2010. Disponible: <http://realtek.info/pdf/rtl8019as.pdf>. [Acceso: Marzo 12, 2010].
- [25]. Microchip Technology Inc, "24AA256/ 24LC256/ 24FC256 Data Sheet," 2010. Disponible: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21203Q.pdf>. [Acceso: Julio, 2010].
- [26]. J. Rodríguez, "Diseño De Un Sistema Inalámbrico Para El Monitoreo En Tiempo Real De Temperatura Y Humedad Relativa Bajo Invernadero," *Tesis, Universidad de la Salle*, Bogotá D.C., 2006.
- [27]. R. Rojas, R. Rivera, and W. Quispe, "Internet y redes Inalámbricas," *CLANAR Centro de enseñanza para Latinoamérica*. Arequipa, Perú, 2006.
- [28]. G. Araujo, L. Camacho, D. Chávez y J. Vera, "Redes Inalámbricas para Zonas Rurales," *Pontificia Universidad Católica del Perú*. Lima, Perú, Enero 2008.
- [29]. W.O. Cardona, "Simulación de la capa física para redes inalámbricas de área local WLAN IEEE 802.11g," *Tesis, Universidad del Valle*, Santiago de Cali, Colombia, 2005.
- [30]. "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," IEEE 802.11 Standard, 2007.
- [31]. Ministerio de Comunicaciones, "Resolución MinCom 689 de 2004," Disponible: http://www.comusuarios.gov.co/documentos/Normatividad/otras/Res_MinCom_0689_2004.doc. [Acceso Agosto 8, 2009].
- [32]. Programa Google Earth para Windows XP, Versión 5.2.1.1588, Conexión con servidor hk.google.com. 2010.
- [33]. QPCOM, "QP-WR258GHP High Power 802.11b/g Wireless AP Router," 2008.
- [34]. QPCOM, "QP-WO259GHP 802.11b/g Wireless High Power Access Point with PoE," 2010.
- [35]. J. J. Murillo. "Radio propagación. Transparencias de la asignatura radiación y radiocomunicación," *Universidad de Sevilla*, España. 2005.
- [36]. M. Achour et al., "Manual de PHP," *The PHP Documentation Group*, 1997- 2010. Disponible: <http://www.php.net/manual/es/>. [Acceso: Agosto 2, 2010].
- [37]. Corporación ORACLE, "Manual de Referencia MySQL 5.0," *revisión: 22139, Corporación Oracle y Afiliados*, 1997 – 2010. Disponible: <http://dev.mysql.com/doc/refman/5.0/es/>. [Acceso: Agosto 2, 2010].
- [38]. PHPlot Sourceforge Project, "PHPlot Reference Manual," Mayo, 2010. Disponible: <http://phplot.sourceforge.net/phplotdocs/index.html>. [Acceso: Marzo, 2010].

- [39]. Google Code, "Fot, Attractive Javascript plotting library for jQuery," 2010. Disponible: <http://code.google.com/p/flot/> . [Acceso: Marzo, 2010].
- [40]. InfoSoft Global (P) Ltd, "Fusions Charts Free," 2010. Disponible: <http://www.fusioncharts.com/free/> . [Acceso: Marzo, 2010].
- [41]. Advanced Software Engineering Limited, "ChartDirector," 2010. Disponible: <http://www.advsofteng.com/>. [Acceso: Abril, 2010].
- [42]. M. Vivanco, "Muestreo Estadístico, Diseño y Aplicaciones," (1ra ed). *Santiago de Chile*, 2005.
- [43]. J. Angel, "Estadística General Aplicada," (1ra ed). Medellín, Colombia, Junio, 2007.
- [44]. L. Reyes, "Distribución de T-Student", Disponible: <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r51637.PDF>. [Acceso: Septiembre, 2010].
- [45]. SINIGAN, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, y FEDEGAN, "Protocolo para la Evaluación de los Dispositivos de Identificación Nacional –DIN," Bogotá, Colombia. Disponible:<http://www.sinigan.gov.co/Portal/Portals/0/PDF/SINIGAN-DIN-Convocatoria-Suministro-Anexo%20No.2.pdf>. [Acceso: Septiembre, 2010]
- [46] Davis Instruments Corp, "Weather Stations Vantage Pro," 2010. Disponible:<http://www.davisnet.com/weather/products/vantagepro.asp>. [Acceso: Agosto 2010].
- [47] Grupo de Ingeniería Telemática, Grupo de Estudios Ambientales. "Sistema de Información Regional del Agua," *Universidad del Cauca*, 2010. Disponible: <http://mva.unicauca.edu.co/moduloambiental/SelectStation.jsp>. [Acceso: Agosto, 2010].

ANEXOS.

ANEXO A. MANUAL DE USUARIO.

Este manual describe la instalación y configuración del sistema electrónico que es adaptable a un pluviógrafo tipo Hellman de sifón automático, con el objetivo de capturar los datos de la precipitación atmosférica desde un equipo remoto mediante una comunicación inalámbrica. En la captura de datos interviene una aplicación software que permite la visualización, almacenamiento y análisis de los datos, que pueden ser consultados en una página Web. En la figura A.1, se muestran los elementos necesarios para la implementación del sistema.

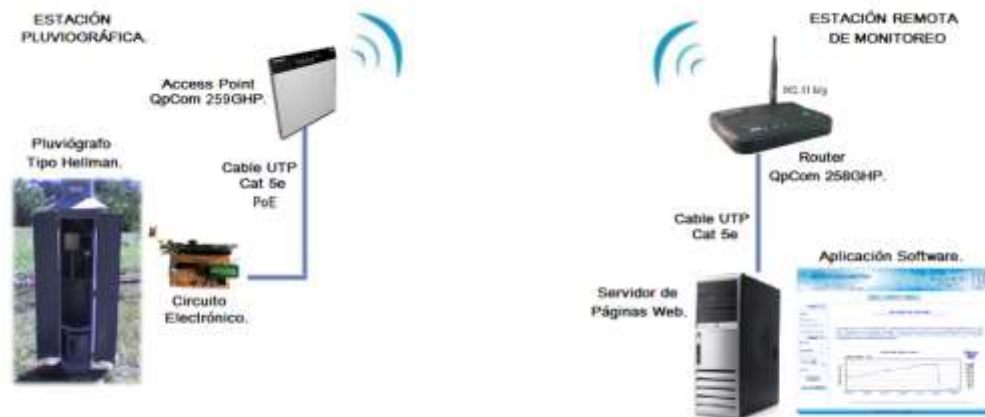


Figura A.1 Elementos para la Instalación del Pluviógrafo Electrónico.

El circuito electrónico, los dispositivos inalámbricos de red y la aplicación software requieren de configuraciones previas con el fin de establecer parámetros de conexión y de calibración. Los parámetros por defecto que tiene el circuito electrónico permiten una conexión automática con las redes Ethernet, en la siguiente sección (Anexo A1), se describe la configuración de los parámetros para la tarjeta electrónica en caso de ser necesario algún cambio. Los parámetros de configuración de los dispositivos inalámbricos, deben ser configurados para establecer una comunicación entre ellos, en la sección Anexo A2, se indica este proceso. Y en la sección Anexo A3, se describe la instalación y configuración para montar la aplicación software para un servidor de páginas PHP.

ANEXO A1. CONFIGURACIÓN DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO.

Este anexo hace referencia a las configuraciones necesarias para la instalación de la tarjeta electrónica en el pluviógrafo. En la figura A.2, se indican las partes del circuito electrónico.

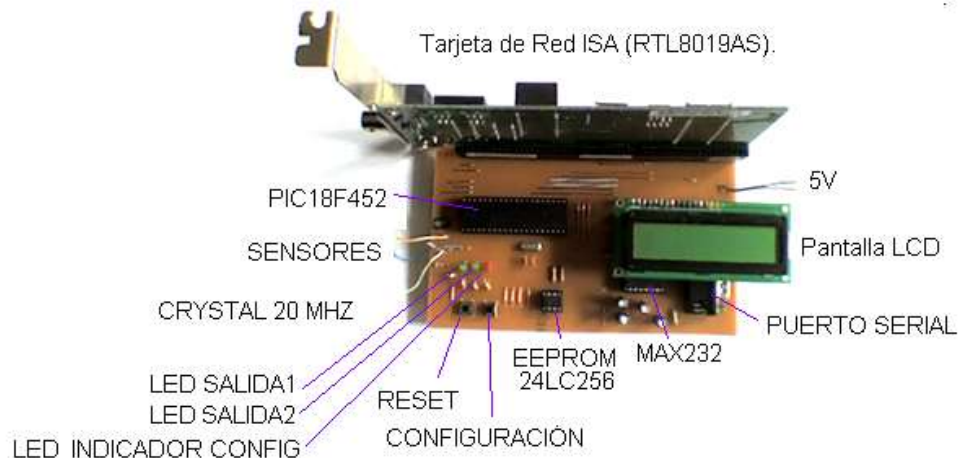


Figura A.2 Circuito Electrónico.

PIC18F452: el microcontrolador PIC18F452, contiene el código fuente (pluviografo.hex), que permite el control de los demás elementos. Este archivo se ubica en la carpeta “/Circuito/PIC18f452/” del disco de instalación.

Sensores: la tarjeta posee dos entradas de datos para señales analógicas con niveles de voltaje de 5v. (Pueden ser dos sensores tipo potenciómetro lineal).

Salidas: el circuito electrónico posee dos salidas de datos que pueden ser manipuladas desde la estación de control remota o desde cualquier punto de la red mediante el uso de un navegador de internet. Estas salidas son tipo “on/off”, y son indicadas mediante los led de color verde, que pueden ser usadas para activar o desactivar algún elemento estilo interruptor de encendido. Con esta salida es posible controlar un motor que realice alguna función como por ejemplo el desatasco de los ductos de agua en el pluviógrafo.

El led rojo “Indicador de Configuración”, es usado para mostrar el estado de configuración en que se encuentra trabajando el circuito electrónico. Si el led parpadea significa que la tarjeta se encuentra en el modo normal de funcionamiento, quiere decir que se encuentra lista para la transmisión de la información por la red. Si el led se encuentra encendido de forma permanente, quiere decir que el circuito se encuentra en el modo de configuración.

El botón “Reset”, sirve aplicar las configuraciones por defecto a la tarjeta. La dirección IP por defecto es la dirección 192.168.1.100, que se puede observar en la pantalla LCD de la tarjeta. Si la tarjeta se encuentra conectada a un Router o AccessPoint, la dirección IP será la que asigne este dispositivo, debido a que la configuración por defecto establece que el uso de la función DHCP (sigla en inglés de Dynamic Host Configuration Protocol - Protocolo de configuración dinámica de host).

El botón de configuración es requerido para el inicio del modo de configuración de la tarjeta. Para iniciar este modo es necesario presionar primero este botón, y sin soltarlo, se presiona el botón “reset”, y luego se sueltan los dos botones.

EEPROM 24LC256: es una memoria ROM programable y borrable eléctricamente. Esta memoria hace posible almacenar los parámetros de configuración del circuito electrónico y también alojar archivos tipo binario codificado con extensión “.bin”. Este archivo se

programa en la memoria, el cual contiene archivos CGI (Common Gateway Interface), y archivos HTML, los cuales posibilitan la visualización de información del circuito electrónico a través de un navegador de Internet, la información acerca de la estación pluviográfica y la actividad del sensor.

Max232: este circuito integrado se utiliza para establecer una interfaz entre la lógica TTL del microcontrolador (PIC18F452) y la lógica RS232 (Puerto serial del computador). Mediante un cable que tiene en sus extremos un conector tipo DB9-hembra, es posible la conexión de la tarjeta al computador para la configuración de parámetros como nombre de host, dirección IP, máscara de subred, puerta de enlace, entre otras.

La pantalla LCD, es usada para presentar la información de la dirección IP que posee el circuito electrónico, puede ser usada también para presentar mensajes cortos que pueden ser enviados desde la estación de control remota hacia el circuito electrónico.

La fuente de alimentación para todo el circuito debe ser de 5v.

La tarjeta de red usada para el funcionamiento del circuito electrónico debe contener el circuito integrado RTL8019as. Es muy importante que la tarjeta de red posea este integrado ya que el código programado en el microcontrolador PIC18f452 contiene la información necesaria para el funcionamiento de este tipo de driver de red.

La configuración del circuito electrónico se realiza con el propósito de establecer los parámetros necesarios para la conexión de esta tarjeta con el dispositivo de red AccessPoint ubicado en la torre de 10 metros. Los parámetros a configurar son: Nombre de la tarjeta, Dirección IP, Máscara de subred, Puerta de enlace, Activación de la función DHCP y Desactivación de la función DHCP.

La configuración predefinida del circuito, tiene la función DHCP activada, quiere decir que la asignación de la dirección IP se realiza de forma automática.

Para modificar los parámetros citados anteriormente, es necesario conectar el circuito electrónico (incluida la tarjeta de red), a una fuente de 5v, luego conectar el cable tipo serial, (conector hembra en sus extremos), al puerto serial de un computador de escritorio. Luego abrir una conexión en el hyperterminal de Windows, (el Hyperterminal es un programa para comunicar dispositivos), para ello se dirige desde el "MENÚ DE INICIO", luego "PROGRAMAS", luego "ACCESORIOS", luego "COMUNICACIONES", y luego "HYPERTERMINAL", como se observa en la figura A.3.

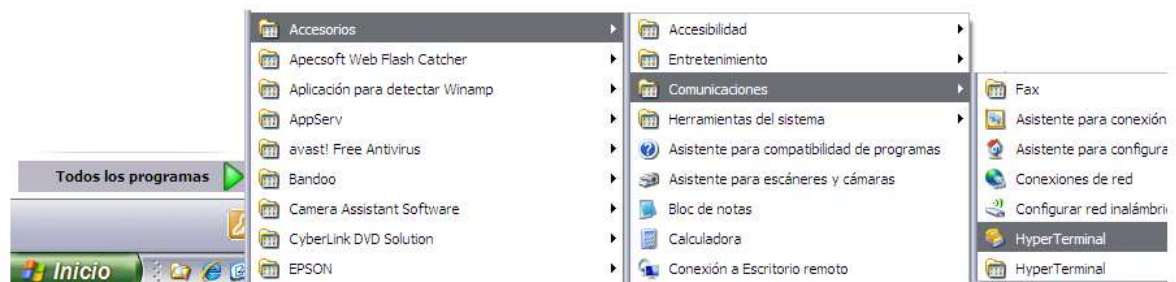


Figura A.3. Programa Hyperterminal de Windows.

La ventana de la figura A.4, indica el inicio de la conexión del circuito electrónico con el computador. Se digita el nombre para la conexión, (cualquier nombre).



Figura A.4 Nombre de conexión.

Se selecciona el puerto del computador, por lo general es COM1 (Figura A.5).

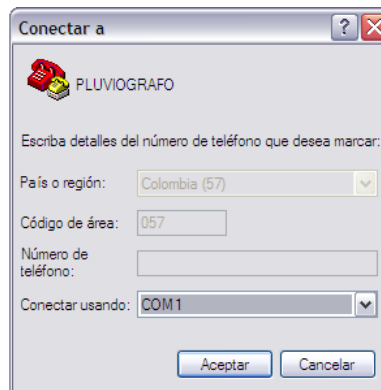


Figura A.5 Puerto de conexión del computador.

Se configuran los siguientes parámetros para la comunicación como aparece en la figura A.6, Bits por segundo: 19200, Bits de datos: 8, Paridad: Ninguno, Bits de parada: 1, Control de flujo: Hardware.



Figura A.6 Configuración del puerto del computador.

Posteriormente se despliega una ventana donde se presentará el menú de configuración (Figura A.7), y quedando en estado de espera para recibir información del circuito electrónico.

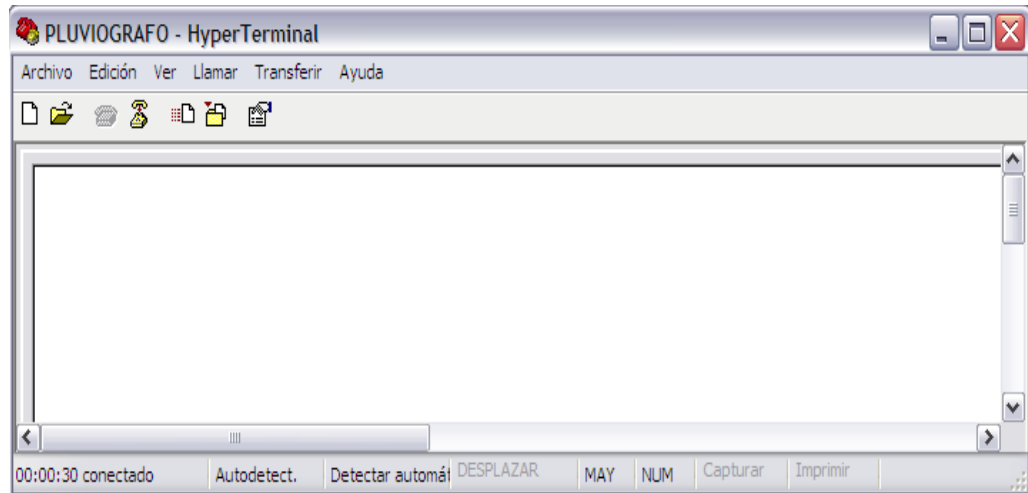


Figura A.7 Inicio de conexión.

Luego, en el circuito se presiona el botón de "configuración" sostenidamente hasta presionar el botón de "reset", luego se sueltan los dos botones, y en la ventana del hyperterminal se despliega un menú con la información de los parámetros (Figura A.8).

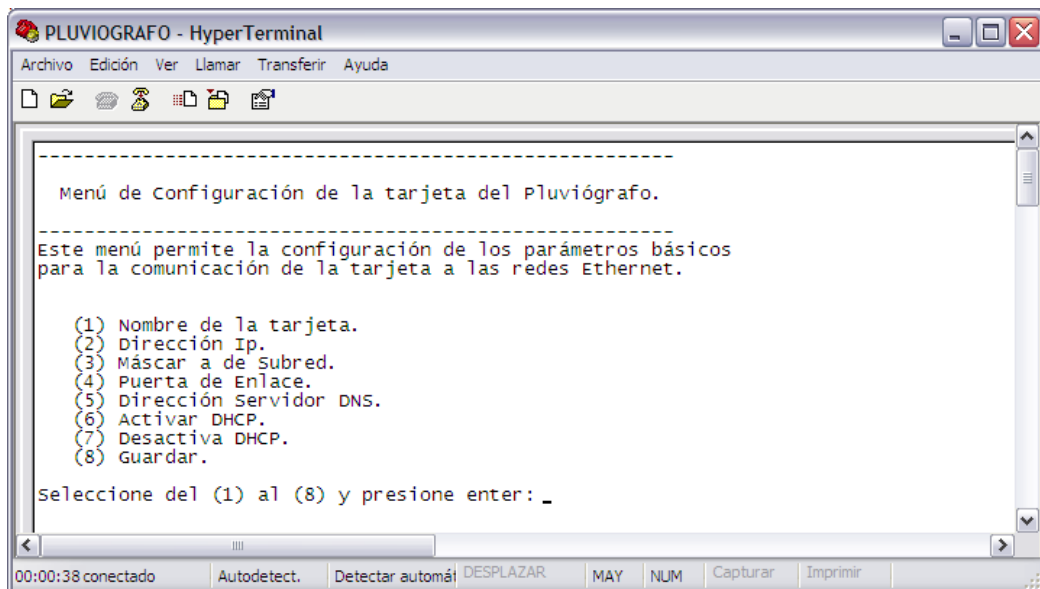


Figura A.8 Menú Principal.

Para poder ver el carácter que se selecciona en la pantalla al digitar el número por medio del teclado es necesario activar la siguiente opción. Propiedades, configuración, configuración ANSII, Activar "Eco de los caracteres escritos localmente" (Figura A.9).

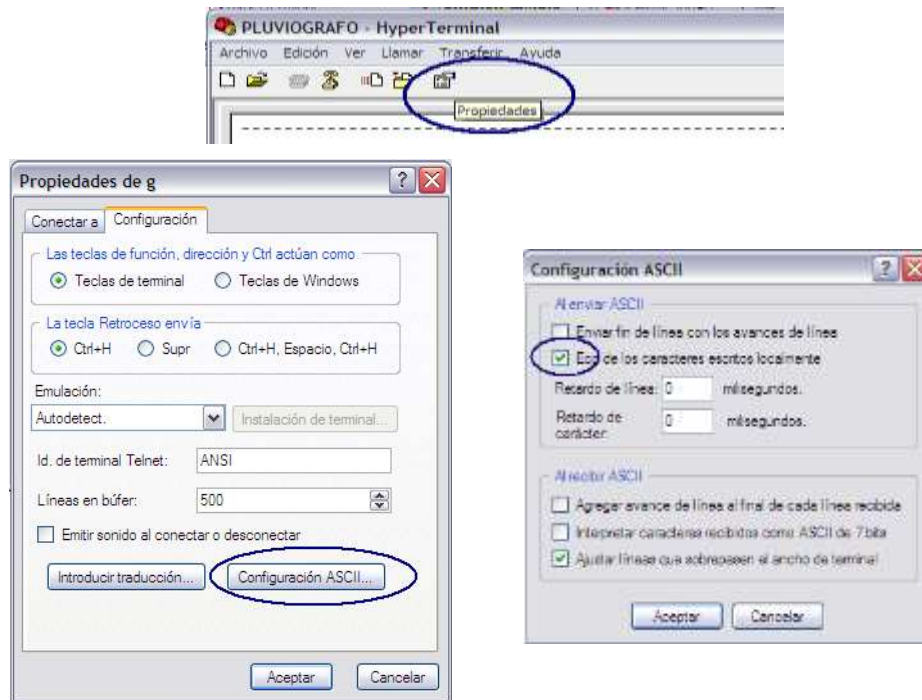


Figura A.9 Configuración para caracteres escritos localmente.

Posteriormente, se configura según el menú, el nombre de la tarjeta de acuerdo al número del pluviógrafo: Pluviógrafo 001, la dirección IP: 192.168.1.100 en caso de no tener predefinido este valor, la máscara de subred: 255.255.255.0 y la puerta de enlace: 192.168.1.8, que es la dirección IP del AccessPoint. Para la obtención de la dirección IP de forma automática se activa la función de DHCP con la opción (6), la dirección es asignada por el AccessPoint de acuerdo al rango de asignación para direcciones IP que tiene configurado.

Luego de modificar los parámetros, se selecciona la opción 8 para guardar los cambios, una vez guardados, se despliega en la ventana del Hyperterminal (Figura A.10), la dirección IP que adquiere la tarjeta, ya sea por la asignación de dirección que le suministra el AccessPoint para el caso de DHCP activado, o la dirección IP asignada manualmente por el menú anterior. Esta dirección IP también se puede observar en la pantalla LCD del circuito electrónico.

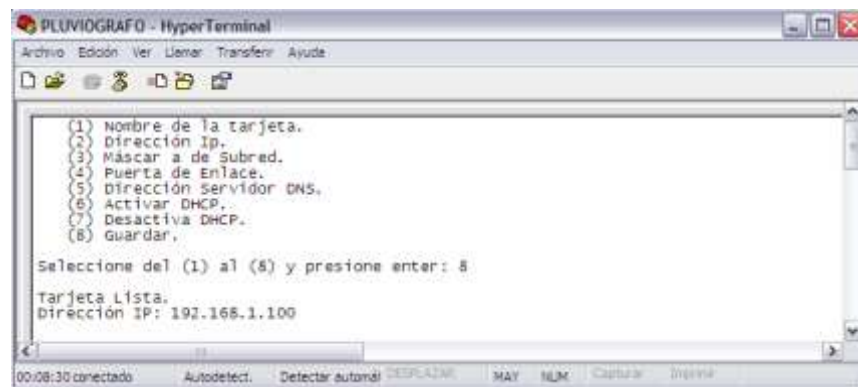


Figura A.10 Dirección IP asignada.

Con la anterior configuración, el circuito electrónico queda configurado con el AccessPoint. Posteriormente se debe configurar este último para establecer la comunicación inalámbrica hacia el otro dispositivo de red "Router" que se ubica en una zona remota, bajo el alcance de las señales.

Para efectos de cambio de elementos como el PIC18F452 o la memoria 24lc256, es necesario tener en cuenta que se debe programar el PIC18F452 con el archivo "pluviografo.hex" y la memoria 24lc256 con el archivo "pagina.bin", incluido en CD-ROM de instalación ubicados en la carpeta "/Circuito/PIC18f452/" y "/Circuito/Memoria24lc256/", respectivamente. El archivo pluviografo.hex, contiene información para el manejo de las funciones del Stack de protocolos, el manejo de la pantalla LCD, y el manejo del driver de red RTL8019as, entre otras funciones y el archivo "pagina.bin" contiene la información de una página Web que presenta información de las características de la estación pluviográfica, como es el lugar de ubicación del pluviógrafo, inicio de funcionamiento, estado del sensor y estados de las salidas ("on/off"), entre otras.

La carpeta "/Circuito/Memoria24lc256/Web/", contiene los archivos de la página Web, y la figura A.11, muestra el diseño de esta página para el pluviógrafo de la estación de la Universidad del Cauca.



Figura A.11 Página del Circuito.

Si se desea presentar otra página, es necesario crear el archivo codificado ".bin", es importante copiar la carpeta "/Memoria24lc256/" a un directorio en el disco duro, además es necesario cambiar el nombre o borrar el archivo anterior "pagina.bin". Se ejecuta el archivo crearimagen.bat contenido en la carpeta, el cual creará el archivo "pagina.bin".

Es necesario que los siguientes archivos se encuentren en el mismo directorio "/Memoria24lc256/" del disco duro de un computador:

- mpfs.exe.
 - header.bin.
 - rom.bin.
 - pagina.bin
 - crearimagen.bat.
- Y la carpeta "Web".

La nueva página que se desea crear, debe tener como nombre de directorio raíz el nombre “Web”.

Luego de crear el archivo binario, (no debe de superar los 24 Kbytes para garantizar que se programe bien en la memoria), hay dos formas de programarlo en la memoria. La primera es mediante un programador de circuitos integrados, para esto es necesario retirar la memoria de la tarjeta del pluviógrafo. La segunda forma es mediante el envío del archivo “.bin” a través de la red, para ello se hace uso de la función FTP (sigla en inglés de File Transfer Protocol - Protocolo de Transferencia de Archivos), incluida en la programación del *Stack* en el PIC18F452. La transferencia del archivo haciendo uso de la función FTP se realiza desde la ventana de comandos en OS/2 de Windows (CMD, Command Prompt), y se accede desde la opción “Ejecutar” que se encuentra en el menú de inicio, como se aprecia en la figura A.12.

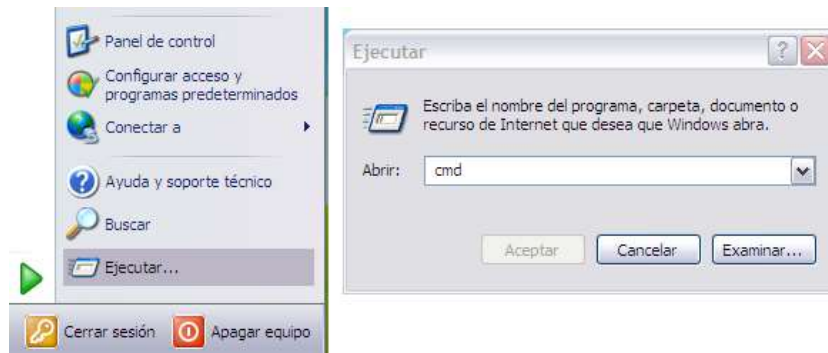


Figura A.12 Abrir la ventana de comandos de Windows.

Luego de escribir “CMD”, que significa que abre la ventana de ejecución de comandos (CMD - command) se despliega la siguiente ventana (Figura A.13).

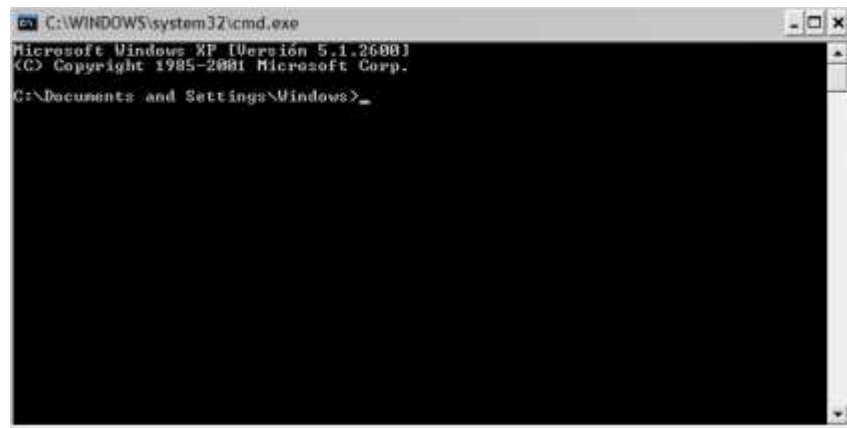
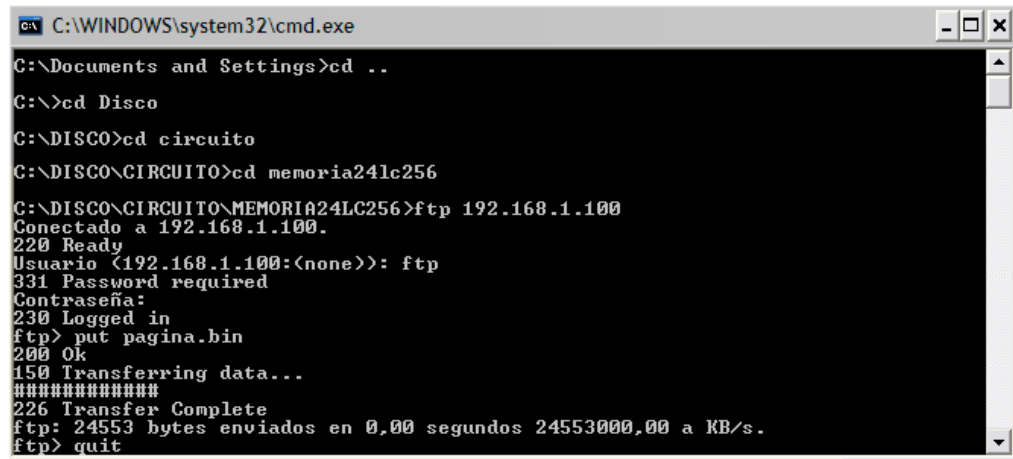


Figura A.13 Ventana de comandos “CMD - Command Prompt”.

Luego se accede a la carpeta que contiene el archivo “pagina.bin” de la nueva página. Luego se digita el siguiente comando: “ftp 192.168.1.100”. Este comando inicia la petición de transferencia de archivos FTP (Protocolo de Transferencia de Archivos), y la dirección IP hace referencia a la dirección IP del circuito electrónico. Una vez se tiene respuesta por parte del circuito electrónico para la transferencia de archivos, se digita el comando “ftp”, el circuito realiza la petición de acceso mediante una contraseña (contraseña: “pluviografo” – sin tilde). Luego del acceso correcto se digita el siguiente comando para

subir la nueva página al circuito electrónico: “putpagina.bin”, de esta forma se inicia la transferencia del archivo desde el equipo remoto hacia el circuito. Después de terminada la carga del archivo se digita el comando “quit” para terminar el proceso (Figura A.14).



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\Documents and Settings>cd ..
C:\>cd Disco
C:\DISCO>cd circuito
C:\DISCO\CIRCUITO>cd memoria24lc256
C:\DISCO\CIRCUITO\MEMORIA24LC256>ftp 192.168.1.100
Conectado a 192.168.1.100.
220 Ready
Usuario (192.168.1.100:(none)): ftp
331 Password required
Contraseña:
230 Logged in
ftp> put pagina.bin
200 Ok
150 Transferring data...
#####
226 Transfer Complete
ftp: 24553 bytes enviados en 0,00 segundos 24553000,00 a KB/s.
ftp> quit
```

Figura A.14 Configuración para la transferencia de archivos por FTP.

Una vez configurada la página y la dirección IP, se prueba que el circuito funcione de la manera adecuada. Se conecta mediante un cable de red directo (norma EIA/TIA 568A en sus extremos o norma EIA/TIA 568B en sus extremos) a un computador (usando los puertos de red). Luego desde un navegador de internet (Internet Explorer o Mozilla Firefox), se digita la dirección IP del circuito, en la barra de direcciones del navegador lo cual hace posible acceder a la página del circuito electrónico donde se encuentra información básica de la estación, además de visualizar el valor del sensor (0 - 1023). Luego de probar el correcto funcionamiento del circuito se procede a configurar los equipos inalámbricos de red (AccessPoint y Router).

ANEXO A2. CONFIGURACIÓN DE LOS EQUIPOS INALÁMBRICOS.

Los equipos inalámbricos de red (Router QPCOM WR258GHP y Access Point QPCOM WO259GHP), se configuran para establecer un enlace de comunicación entre la estación meteorológica (pluviógrafo), y la estación remota de monitoreo (equipo remoto o servidor de páginas Web). La configuración que se describe a continuación se realiza para el enlace directo entre estos dos equipos, indicando primero la configuración para el equipo ubicado en la estación remota de monitoreo.

1. Router QPCOM WR258GHP.

Este equipo se ubica en la estación remota de monitoreo y es usado para establecer la comunicación entre el dispositivo de red ubicado en la estación meteorológica y el equipo para el almacenamiento de los datos. La conexión del Router, con el equipo para el almacenamiento de los datos (servidor de páginas Web), se puede realizar mediante un cable UTP categoría 5e directo. El puerto de red WAN del Router, se usa para la conexión a la red Internet. En la figura A.15, se observa la imagen del dispositivo.



Figura A.15 Router QpCom WR258GHP.

Configuración del Router QPCOM WR258GHP.

La configuración para este dispositivo, hace referencia al modo de operación, la dirección IP, y el rango de direcciones IP que serán asignadas a los equipos que se conectan a este dispositivo, (ejemplo: dirección IP del servidor de páginas Web). Mediante el uso de un navegador (Internet Explorer o Mozilla Firefox, Netscape, entre otros), se accede a la interfaz de configuración para este dispositivo. A continuación se indican los pasos para este proceso.

1. Iniciar un navegador Web (Internet Explorer, Mozilla Firefox o Netscape).
2. Ingresar la dirección **http://192.168.1.254**, en el campo de direcciones como se observa en la figura A.16. Esta dirección IP viene por defecto y se describe en el manual del equipo.

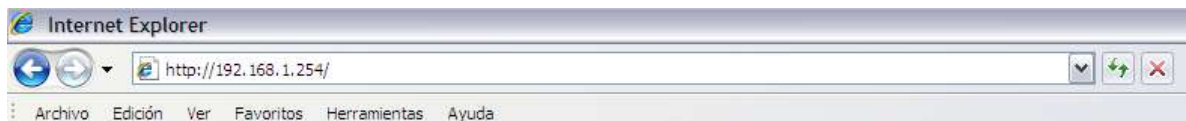


Figura A.16 Navegador Internet Explorer con la dirección IP 192.168.1.254.

3. Ingresar el nombre de usuario y la contraseña (la configuración predeterminada es nombre: "admin" y contraseña: "admin").
4. Después de un acceso correcto, se presenta una interfaz de bienvenida a la configuración del Access Point. (Figura A.17).



Figura A.17 Pantalla de bienvenida Router QPCOM WR258GHP.

5. La opción “Wireless”, permite la configuración de los parámetros de la transmisión inalámbrica (Figura A.18). Los parámetros de configuración se establecen con la siguiente característica:



Figura A.18 Interfaz inalámbrica del Router.

Disable Wireless LAN interface: activa o desactiva la red inalámbrica (sin marcación).

Band: 2.4 GHz (B+G). Banda de frecuencia para la transmisión.

Mode: AP. Modo Access Point. Punto de acceso.

Network Type: Infrastructure. Tipo de red.

SSID: QPW.

ChanelNumber: Auto. Canal de trasmisión de la señal.

6. En la configuración de red inalámbrica opción “Wireless”, hay una opción llamada “Advanced”, para opciones avanzadas, de las cuales se establecen los siguientes parámetros (Figura A.19).



Figura A.19 Configuración Avanzada de la red Inalámbrica.

AuthenticationType: Open System. Configuración del tipo de autenticación.

Date Rate: Auto. Tasa de transferencia automático.

RF PowerLevel: 20-23dbm el más bajo nivel de potencia de transmisión.

7. Luego de seleccionar los parámetros se guardan los cambios mediante el botón “Apply Changes”.

8. En la opción TCP/IP (Figura A.20), se establecen los parámetros de dirección IP del equipo (por defecto 192.168.1.254), cambiando la configuración por defecto a la dirección IP 192.168.1.4, esta dirección es ahora la dirección de acceso a la configuración del equipo. En esta configuración TCP/IP, se asignan los rangos de direcciones IP que van desde la dirección 192.168.1.100 hasta la dirección 192.168.1.101, quiere decir que asigna la dirección 192.168.1.100 al primer dispositivo de red con configuración DHCP.

IP Address: 192.168.1.4 (Dirección de red).

SubnetMask: 255.255.255.0 (Máscara de subred).

Default Gateway: 0.0.0.0. Se cambia por la dirección IP del equipo que suministra la conexión a internet.

DHCP: Server. Asigna direcciones IP automáticamente.

DHCPClientRange: 192.168.1.100 – 192.168.1.101.

La dirección 192.168.1.4, se debe configurar como puerta de enlace para el equipo Access Point.



The screenshot displays the 'LAN Interface Setup' page of a QPCOM WLAN Access Point. The page title is 'LAN Interface Setup' and it includes a brief description: 'This page is used to configure the parameters for local area network which connects to the LAN port of your Access Point. Here you may change the setting for IP addresss, subnet mask, DHCP, etc...'. The configuration fields are as follows:

IP Address:	192.168.1.4
Subnet Mask:	255.255.255.0
Default Gateway:	0.0.0.0
DHCP:	Server
DHCP Client Range:	192.168.1.100 - 192.168.1.101
Domain Name:	
802.1d Spanning Tree:	Disabled
Clone MAC Address:	000000000000

At the bottom of the form, there are two buttons: 'Apply Changes' and 'Reset'.

Figura A.20 Configuración de la Interfaz de red LAN.

2. ACCESS POINT QPCOM WO259GHP.

El Access Point (Figura A.21), se ubica en la proximidad del pluviógrafo, para este caso, en la torre de 10 metros de la estación meteorológica.



Figura A.21 Access Point QpCom WO259GHP.

Configuración del Access Point QPCOM WO259GHP.

La configuración de este dispositivo hace referencia al modo de operación, la dirección IP de este, y el rango de direcciones IP que serán asignadas a los equipos que se conectan a este dispositivo, (ejemplo: varias tarjetas para varios sensores en la estación meteorológica). Mediante el uso de un navegador (Internet Explorer o Mozilla Firefox, Netscape, entre otros), se accede a la interfaz de configuración para este dispositivo. A continuación se indican los pasos para este proceso.

1. Ejecutar un navegador web (Internet Explorer, Mozilla, Netscape).
2. Ingresar la dirección **http://192.168.1.254**, en el campo de direcciones como se observa en la figura A.22. Esta dirección IP viene por defecto y se describe en el manual del equipo.

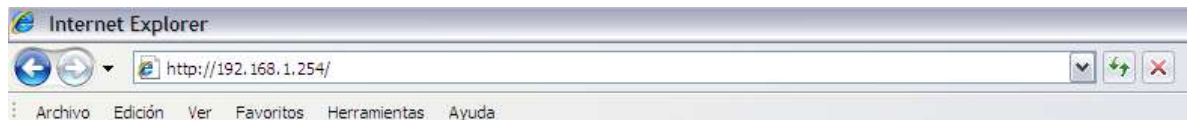


Figura A.22 Navegador Internet Explorer con la dirección IP 192.168.1.254

3. Ingresar el nombre de usuario y la contraseña (la configuración predeterminada es nombre: "admin" y contraseña: "admin").
4. Después de la autenticación, se presenta una interfaz de bienvenida a la configuración del Access Point. (Figura A.23).



Figura A.23 Interfaz de inicio Access Point WA257GHP.

5. La opción “Wireless”, permite la configuración de los parámetros de la transmisión inalámbrica (Figura A.24), los parámetros de configuración se establecen con la siguiente característica:

The screenshot shows the 'Wireless Basic Settings' page in the QPCom web interface. The left sidebar contains a 'Site contents' menu with options like 'Setup Wizard', 'Status', 'Basic Settings', 'Advanced Settings', 'Security', 'Access Control', 'WDS settings', 'Site Survey', 'WPS', 'TCP/IP Settings', 'Log', 'Statistics', 'Upgrade Firmware', 'Save/Reload Settings', 'Password', and 'Logout'. The main content area is titled 'Wireless Basic Settings' and includes a description: 'This page is used to configure the parameters for wireless LAN clients which may connect to your Access Point. Here you may change wireless encryption settings as well as wireless network parameters.' Below this, there are several configuration fields: a checkbox for 'Disable Wireless LAN Interface' (unchecked), a 'Band' dropdown set to '2.4 GHz (B+G)', a 'Mode' dropdown set to 'Client', a 'Network Type' dropdown set to 'Infrastructure', an 'SSID' text box containing 'QPW', a 'Channel Number' dropdown set to 'Auto', and a 'Show Active Clients' button. At the bottom, there is another checkbox for 'Enable Mac Clone (Single Ethernet Client)' (unchecked).

Figura A.24 Configuración Interfaz inalámbrica.

Disable Wireless LAN interface: activa o desactiva la red inalámbrica (sin marcación).

Band: 2.4 GHz (B+G). Banda de frecuencia para la transmisión.

Mode: Cliente. Modo de operación del Access Point.

Network Type: Infrastructure. Tipo de red.

SSID: QPW.

Chanel Number: Auto. Canal de trasmisión de la señal.

6. En la opción TCP/IP, se establecen los parámetros de dirección IP del equipo (por defecto 192.168.1.254), cambiando la configuración por defecto a la dirección IP 192.168.1.8, esta dirección es ahora la dirección de acceso a la configuración del equipo. Además esta dirección debe ser configurada como la dirección de “puerta de enlace” para el circuito electrónico. En esta configuración TCP/IP, se establece en la configuración de DHCP como modo “Cliente”, de esta forma, las direcciones IP, serán asignadas por el Router QpCom- WR258GHP.

The screenshot shows the 'LAN Interface Setup' page in the QPCom web interface. The left sidebar is identical to the previous screenshot. The main content area is titled 'LAN Interface Setup' and includes a description: 'This page is used to configure the parameters for local area network which connects to the LAN port of your Access Point. Here you may change the setting for IP address, subnet mask, DHCP, etc...'. Below this, there are several configuration fields: 'IP Address' (192.168.1.20), 'Subnet Mask' (255.255.255.0), 'Default Gateway' (192.168.1.10), 'DHCP' dropdown (Client), 'DHCP Client Range' (192.168.1.100 - 192.168.1.200) with a 'Show Client' button, 'DNS Server' (empty), 'Domain Name' (empty), '802.1d Spanning Tree' dropdown (Disabled), and 'Clone MAC Address' (000000000000).

Figura A.25 Configuración Interfaz LAN.

7. Después de configurar los parámetros de la red inalámbrica (WLAN), en la opción “Wireless”, hay una opción llamada “SiteSurvey”, que sirve para detectar equipos que transmiten señales inalámbricas. En esta opción se observa una interfaz (Figura A.26), donde se observa el Router QPCOM WR258GHP identificado con el SSID “QPW”. Seleccionar este equipo para realizar la conexión y luego aceptar los cambios.

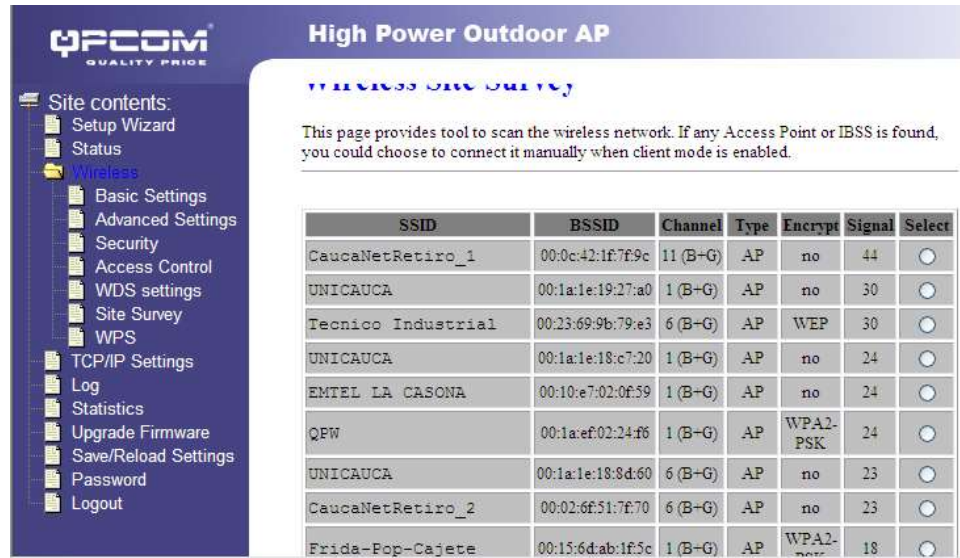


Figura A.26 Conexión al Router QpCom WR258GHP.

Una vez configurados los dos equipos inalámbricos, es posible acceder a la página del circuito electrónico desde un equipo conectado a la red del Router. Se comprueba la conexión hacia el circuito desde la estación remota de monitoreo, escribiendo la dirección IP 192.168.1.100 en la barra de direcciones de un navegador de páginas Web. Luego de comprobar el funcionamiento del circuito electrónico a través de la red inalámbrica se procede a la instalación de la aplicación software que permite capturar y almacenar los datos del pluviógrafo.

ANEXO A3. CONFIGURACIÓN SOFTWARE Y APLICACIÓN WEB.

La aplicación software está diseñada en lenguaje de programación PHP para páginas Web, la instalación de la aplicación requiere que el equipo destinado para almacenar los datos esté configurado como un equipo servidor de páginas Web con soporte de lenguaje de programación PHP. Esta sección del anexo describe la instalación de los programas necesarios para la configuración del equipo servidor y la presentación de la página Web del pluviógrafo.

Configuración del equipo Servidor de páginas Web.

Se inicia con la instalación del programa Appserv, ubicado en la carpeta “/Software/Instalación/” del disco de instalación, es una herramienta de código abierto que facilita la configuración de Apache, MySql y PHP, en la cual estas aplicaciones se configuran de forma automática. La figura A.27, muestra el inicio de la instalación del software Appserv versión 2.5.9.



Figura A.27 Inicio de instalación del software Appserv versión 2.5.9.

Se establece la carpeta de destino para la instalación de las herramientas, por defecto es la carpeta "c:\Appserv". Se seleccionan todas las herramientas "servidor apache, Bases de datos MySQL, Procesador de Hipertexto PHP y la interfaz de administración phpMyAdmin) (Figura A.28).



Figura A.28 Configuración del software Appserv.

Luego se establece el nombre del servidor y el número del puerto, con estos parámetros el servidor puede ser visitado por los usuarios de la red Internet (Figura A.29). La configuración del puerto debe estar habilitada en el Router frontera que suministra el acceso a la red Internet. La asignación de un puerto se efectúa con la autorización de los administradores de la red de la Universidad.



Figura A.29 Configuración del nombre del Servidor y puerto asociado.

Luego se establece una contraseña para la herramienta de Bases de Datos MySQL como se aprecia en la figura A.30.



Figura A.30 Configuración de Contraseña para la base de datos.

Se activan las opciones para el inicio de las funciones del software Appsev (Figura A.31).



Figura A.31 Inicio del software Apache y MySQL.

Después de la instalación de la herramienta Appserv, se configura en archivo “php.ini”, que se ubica en la carpeta “C:\Windows\”, con los siguientes parámetros.

```
extensión = phpchartdir520.dll  
date.timezone = America/Bogota
```

La configuración del archivo “php.ini”, hace posible la ejecución del software CHARTDIRECTOR, encargado de la generación de las gráficas que se obtienen de los datos capturados por el software. Luego de modificar el archivo php.ini, se debe reiniciar el equipo para guardar los cambios.

Luego se copian las carpetas correspondientes a la aplicación software. La carpeta “/Software/Aplicación/PluviógrafoElectrónico/”, se copia al directorio del computador “C:\Appserv\www\” y la carpeta “/Software/Aplicación/bd_pluviografo/”, se copia a la carpeta “C:\AppServ\MySQL\data\”, y los archivos de la carpeta “/Software/Instalación/lib”, se copian a la carpeta “C:\AppServ\php5\ext”.

Por último se copia el archivo "CapturaDatos.vbs", a la carpeta de inicio que se ubica en la sesión de usuario. (Ejemplo "C:\Documents and Settings\Windows\Menú Inicio\Programas\Inicio"). Este archivo tiene como función obtener los datos provenientes de la estación pluviográfica, con el fin de almacenar dichos datos. Este archivo es un script con extensión ".vbs", (abreviatura de Visual Basic ScriptEdition) escrito en lenguaje interpretado por el Windows Scripting Host de Microsoft. La ejecución de este script permite abrir un navegador que activa el proceso de captura de datos, este navegador se ejecuta en segundo plano (no es visible para el usuario), quedando como un proceso en el sistema operativo.

Luego de configurar los pasos anteriores, es posible iniciar la página Web del Pluviógrafo Electrónico. A continuación se presenta la descripción de esta herramienta que permite la visualización de los datos del Pluviógrafo.

Página Web del Pluviógrafo Electrónico.

La información de la precipitación atmosférica obtenida por el Pluviógrafo Electrónico se presenta en una página Web, en esta se describe el comportamiento de las lluvias que afectan la zona de ubicación del instrumento. La información que suministra la página Web permite conocer:

- El comportamiento de la plumilla inscriptora del pluviógrafo, indicando su movimiento en un gráfico (Pluviograma en tiempo real).
- Valores de la precipitación acumulada en días, en meses y en años, representados en gráficos de barras.
- Distribución de las lluvias respecto al tiempo, mediante un gráfico. (inicio y finalización de los eventos de precipitación).
- Características de las lluvias, mediante la creación de gráficos conocidos como hietogramas, curva masa, hietogramas de intensidades y curvas Intensidad duración.
- Datos históricos, mediante la consulta de pluviogramas, tablas de lluvia y reportes.

En la figura A.32, se presenta la interfaz de Usuario o página principal y en la figura A.33, la interfaz de administrador. La interfaz de administrador es usada para modificar los parámetros de funcionamiento del pluviógrafo.

Interfaz de Usuario o Página de Inicio.

ESTACION PLUVIOMÉTRICA
 Facultad de Ingeniería Civil
 Departamento de Hidráulica e Hidrología

Menú Principal

- Inicio
- Pluviogramas
- Listado de Lluvias
- Gráficas de Lluvias
- Usuarios
- Acciones
- Contraseña
- Inicio
- Inicio
- Inicio

Formulario de autenticación de Usuario (Administrador)

Cabecera y Enlaces de Información.

Pluviograma en Tiempo Real, e indicador de Pluviosidad Diaria.

Precipitación Total por Días, Meses y Años.

Registro de Lluvias

Información de las Lluvias registradas.

Estadísticas

Valores máximos de precipitación.

Pluviograma en Tiempo Real

El Pluviograma en Tiempo Real muestra la precipitación acumulada que se obtiene con el Pluviómetro Campbell, este gráfico sigue al momento de la lectura del Pluviómetro mecánico, cuando ubicado en la estación Meteorológica de Ingeniería de la Universidad del Cauca. La precipitación se lee cada 5 minutos y en otro por metro cuadrado, indicado por eje vertical. El eje horizontal indica el tiempo en formato HH:MM:SS.

Precipitación Total

Precipitación por Día en Octubre de 2010

Día	Precipitación (mm)
01	0.00
02	0.00
03	0.00
04	0.00
05	0.00
06	0.00
07	0.00
08	0.00
09	0.00
10	0.00
11	0.00
12	0.00
13	0.00
14	0.00
15	0.00
16	0.00
17	0.00
18	0.00
19	0.00
20	0.00
21	0.00
22	0.00
23	0.00
24	0.00
25	0.00
26	0.00
27	0.00
28	0.00
29	0.00
30	0.00
31	0.00

Precipitación por Meses en el año 2010

Mes	Precipitación (mm)
Ene	0.00
Feb	0.00
Mar	0.00
Abr	0.00
Mayo	0.00
Jun	0.00
Jul	0.00
Ago	0.00
Sep	0.00
Oct	0.00
Nov	0.00
Dic	0.00

Precipitación por Años

Año	Precipitación (mm)
2010	0.00

Registro de Lluvias

La GRUFA de Lluvias muestra la distribución de las lluvias en el día del tiempo. La Gráfica muestra una relación con respecto a la hora de inicio y hora de finalización, además de indicar la pluviosidad de la lluvia. La tabla que se encuentra en la parte inferior del gráfico resume las características de las lluvias, donde el campo "ID" significa el identificador de lluvia, el campo "hora inicio" y "hora final", indican el tiempo de inicio y hora de final de la lluvia, el campo "duración" indica la duración en minutos "hora inicio" y "hora final", el campo "pluviosidad", indica la cantidad total de agua que cae durante de la lluvia medida en milímetros y en su equivalente a litros por metro cuadrado, el campo "intensidad", se refiere de la división de la pluviosidad a la duración, medida en milímetros por hora, el campo "cantidad" se refiere a la suma de la pluviosidad de la lluvia, esta medida se define como: Gráfica de Inicio, Hora Inicio y Hora Final, Momento (Inicio y Final), Fuente (Inicio y Final), Hora y Fecha (Inicio y Final) y Hora y Fecha (Final), y el campo de "Estado", en el cual que muestra una página que muestra información más detallada de la lluvia.

GRÁFICA DE LLUVIAS

Tabla

ID	Fecha Inicio	Fecha Final	Duración	Pluviosidad (mm)	Intensidad (mm/hora)	Categoría	Estado
1	2010-10-02 22:42:40	2010-10-02 23:00:00	00:17:20	2.88	2.45207	Normal	OK
2	2010-10-02 22:42:40	2010-10-02 23:00:00	00:17:20	7.38	6.40207	Normal	OK
3	2010-10-02 22:42:40	2010-10-02 23:24:44	00:42:04	8.88	7.57776	Normal	OK

Estadísticas

De acuerdo a la información registrada en la base de datos, se obtiene los valores de máxima pluviosidad, hora de máxima pluviosidad, hora de máxima intensidad y hora de máxima duración.

MÁXIMA PLUVIOSIDAD TOTAL REGISTRADA			LLUVIA DE MÁXIMA PLUVIOSIDAD		
FECHA	CANTIDAD (mm)	REGISTRO	HORA	FECHA	CANTIDAD (mm)
02 - OCT - 2010	10.26	100119	5	2010-10-02 22:52:43	7.38
02 - OCT - 2010	20.43	100119	5	2010-10-02 22:52:43	7.38
02 - OCT - 2010	30.66	100119	1	2010-10-02 22:52:43	8.18

LLUVIA DE MÁXIMA DURACIÓN (mm/hora)			LLUVIA DE MÁXIMA DENSIDAD		
HORA	FECHA	INTENSIDAD (mm/hora)	HORA	FECHA	DENSIDAD (mm/h)
06:00	2010-10-02 22:52:43	7.57776	5	2010-10-02 22:52:43	00:09:07
06:00	2010-10-02 22:52:43	7.57776	5	2010-10-02 22:52:43	00:09:07
06:00	2010-10-02 22:52:43	7.57776	5	2010-10-02 22:52:43	00:09:07

Figura A.32 Página Principal de la Aplicación Web.

Página Administrador.

Información de configuración

Datos de Configuración

Rango de Tiempo Pluviograma (min)	5
Tiempo mínimo entre lluvias (min)	10
Valor punto cero del sensor	28
Medida desde 0mm hasta 10mm	800
Valor punto 10mm del sensor	852

Tabla de Desconexión

ID	Fecha Apagado	Fecha Encendido
1	2010-09-30 09:41:53	2010-09-30 09:41:53

Información de inicio de servicio.

Información de Parámetros de funcionamiento.

Configuración de Parámetros de las Lluvias

El Pluviograma de la página principal muestra un gráfico que tiene un rango de tiempo que puede ser configurado mediante esta opción, la siguiente figura indica el parámetro que se modifica.

Rango de tiempo del gráfico "Pluviograma": minutos

La gráfica de lluvias indica las lluvias con respecto a la hora de inicio y hora de finalización en el eje del tiempo, además de la pluviosidad total de la misma indicada por el eje vertical. Cuando no hay actividad en el sensor después de una lluvia por más de "X" minutos, la pluviosidad registrada después de ese tiempo hace referencia a una nueva lluvia. Este parámetro se indica en la figura de acuerdo a la cota TD.

Tiempo mínimo entre lluvias: minutos

Menú de Administrador.

- Menú Administrador
- Parámetros de Lluvias
- Mantenimiento
- Base de Datos
- Copias de Seguridad
- Cambiar Contraseña
- Pluviógrafo
- Calibración del Sensor
- Circuito Electrónico

Figura A.33 Página Administrador.

PÁGINA PRINCIPAL.

- **Cabecera y Enlaces (Inicio, Acerca de, Contacto).**

La figura A.34, muestra la presentación de la cabecera y los enlaces comunes de la página.



Figura A.34 Cabecera y Enlaces de Información.

El botón "Inicio", presenta la página principal (index.php).

El botón "Acerca de", presenta la información básica de la estación meteorológica.

El botón “Contacto”, presenta un formulario para el envío de comentarios acerca de la página por parte de los usuarios.

- **Pluviograma en Tiempo Real.**

La gráfica “Pluviograma”, representa la precipitación atmosférica que se obtiene con el Pluviógrafo Electrónico, esta gráfica indica el movimiento de la plumilla del Pluviógrafo mecánico, equipo ubicado en la estación Meteorológica de Ingenierías de la Universidad del Cauca. La precipitación es medida en milímetros que es equivalente a litros por metro cuadrado, indicado por eje vertical. El eje horizontal indica el tiempo en formato “año-mes-día hora:minuto:segundo”, siendo esta una variable tipo UnixTimestamp. La gráfica “Pluvisidad Actual”, indica la pluvisidad acumulada en el día.

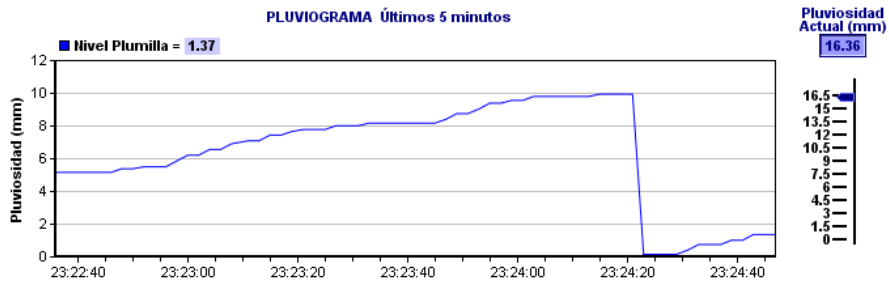


Figura A.35 Gráfica Pluviograma en Tiempo Real.

- **Precipitación Total.**

Las gráficas que se observan en la figura A.36, indican la cantidad total de Pluvisidad registrada “por Días en el Mes”, “por Meses en el Año” y registradas “por Años”. Estos gráficos dinámicos permiten la exploración de valores de precipitación acumulada correspondiente a días, meses o años, mediante la pulsación de un click sobre cada barra. Para la barra de la precipitación acumulada de años, luego de un click sobre esta, el gráfico se transforma en un gráfico que presenta la información de precipitación aculada por meses correspondiente al año seleccionado. De forma similar un click sobre una barra de precipitación mensual, se transforma en una gráfica de precipitación diaria de acuerdo al mes seleccionado. Para el gráfico de Precipitación por Días, un click sobre una barra despliega una nueva ventana que presenta el pluviograma asociado al día seleccionado.

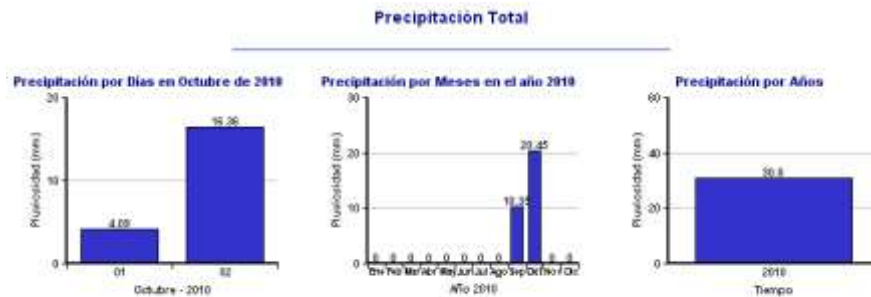


Figura A.36 Precipitación total representada en gráficas de barras.

- **Registro de Lluvias.**

La “Gráfica de Lluvias”, indica la distribución de las lluvias respecto al tiempo. La lluvia se distribuye en el eje del tiempo (eje horizontal), con respecto a la fecha de inicio y fecha de finalización, además de indicar la pluviosidad de la lluvia (eje vertical). La tabla que se presenta en la parte inferior del gráfico informa las características de las lluvias, donde el campo "Id" significa el identificador de lluvia; el campo "fecha Inicial" y "fecha final", indican el rango de tiempo en que ocurre la lluvia; el campo "Duración", indica la duración en formato "hora : minuto : segundo"; el campo "Pluviosidad", indica la cantidad total de agua que se obtiene de la lluvia medida en milímetros o en su equivalente a litros por metro cuadrado; el campo "Intensidad", se obtiene calculando el valor máximo de la pluviosidad capturada cada 10 minutos y dividida entre dicho tiempo para obtener una relación para 1 hora. Esta la medida de intensidad se(milímetros/minuto); el campo categoría, se obtiene a partir de la intensidad máxima calculada, y relacionada a las siguientes relaciones: débil (< 2 mm/h), Moderada (entre 2mm/h y 15 mm/h), Fuerte (entre 15 mm/h y 50mm), Muy Fuerte (entre 50 mm/h y 60 mm/h) y Torrencial (>60 mm/h); y el campo de "Enlace", es un link que ejecuta una página que presenta información más detallada de la lluvia. Figura A.37.



Figura A.37 Registro de Lluvias.

Algunos gráficos poseen un cuadro de opciones estilo menú en la parte derecha que posibilitan el movimiento, la ampliación y la reducción de los detalles del grafico. El cuadro superior establece la opción (cursor-movimiento, Ampliación Reducción) y el cuadro de abajo establece el modo de ampliación o movimiento.

- **Estadísticas.**

De acuerdo a la información registrada en la base de datos, se extraen los valores de máxima pluviosidad, lluvia de máxima pluviosidad, lluvia de máxima intensidad y lluvia de máxima duración (Figura A.38).

MÁXIMA PLUVIOSIDAD TOTAL REGISTRADA			LLUVIA DE MÁXIMA PLUVIOSIDAD			
	FECHA	CANTIDAD (mm)	REGISTRO	IdLluvia	FECHA	CANTIDAD (mm)
DÍA + LLUVIAS	02-Oct-2010	18.26		2	2010-10-02 22:52:42	7.38
MESES + LLUVIAS	Oct-2010	20.42		2	2010-10-02 22:52:42	7.38
AÑO + LLUVIAS	-2010	30.8		1	2010-09-30 09:42:43	8.18

LLUVIA DE MÁXIMA INTENSIDAD (mm/min)			LLUVIA DE MÁXIMA DURACIÓN			
	IdLluvia	FECHA	INTENSIDAD (mm/min)	IdLluvia	FECHA	DURACIÓN (tiempo)
HOY	6	2010-10-02 23:22:46	3.07179	3	2010-10-02 22:52:42	00:08:07
Este MES	6	2010-10-02 23:22:46	3.07179	3	2010-10-02 22:52:42	00:08:07
Este AÑO	1	2010-09-30 09:42:43	3.74654	5	2010-10-02 22:52:42	00:08:07

Figura A.38 Valores máximos registrados.

- **Menú de opciones.**

Este menú se ubica al lado izquierdo de la página y presenta opciones para realizar búsquedas en los datos Históricos. Los resultados de la activación de estos enlaces se presentan en un marco situado al lado derecho de este menú. Ver figura A.39.



Figura A.39 Menú de opciones.

Menú “Inicio”: presenta la página principal.

Menú “Pluviogramas”: ejecuta la opción para seleccionar el Pluviograma de acuerdo a la fecha de inicio y fecha final para el gráfico.

Para seleccionar pluviogramas se llena el formulario de la parte inferior. Las casillas izquierdas al botón "GRAFICAR", establecen la fecha inicial del Pluviograma, con (0 horas):(0 minutos):(0 segundos) y las casillas a la derecha del botón, establecen la fecha final del Pluviograma, con (23 horas):(59 minutos):(59 segundos). Ejemplo: Para seleccionar un Pluviograma de sólo un día se ingresa (9 Agosto 2010) y (9-Agosto-2010), generando el rango de tiempo para graficar el Pluviograma (9-Agosto-2010 0:0:0 y 9-Agosto-2010 23:59:59).

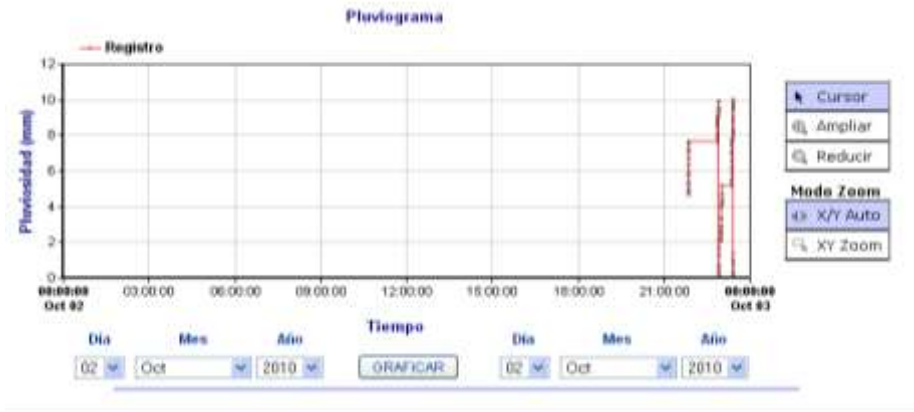


Figura A.40 Selección de Pluviogramas.

Menú “Listado de Lluvias”: ejecuta la opción de búsqueda de las lluvias registradas mediante un formulario similar al presentado en la figura anterior. La tabla informa las características de las lluvias correspondientes a las fechas ingresadas en el formulario de consulta (Figura A.41).

Día: 02, Mes: Oct, Año: 2010 TABLA Día: 02, Mes: Oct, Año: 2010

Id	Fecha Inicial	Fecha Final	Duración	Pluvisidad(mm)	Intensidad (mm/min)	Categoría	Enlace
4	2010-10-02 21:50:36	2010-10-02 21:51:52	00:01:14	2.99	2.42432	Eroasa	Ver Registro
5	2010-10-02 22:52:42	2010-10-02 23:00:46	00:08:07	7.35	0.90924	Ligera	Ver Registro
6	2010-10-02 23:22:46	2010-10-02 23:24:43	00:01:57	5.99	3.07179	Ligera	Ver Registro

Figura A.41 Consulta de Lluvias.

Menú “Grafica de Lluvias”: ejecuta la búsqueda para la gráfica de las lluvias según la fecha del formulario (Figura A.42).

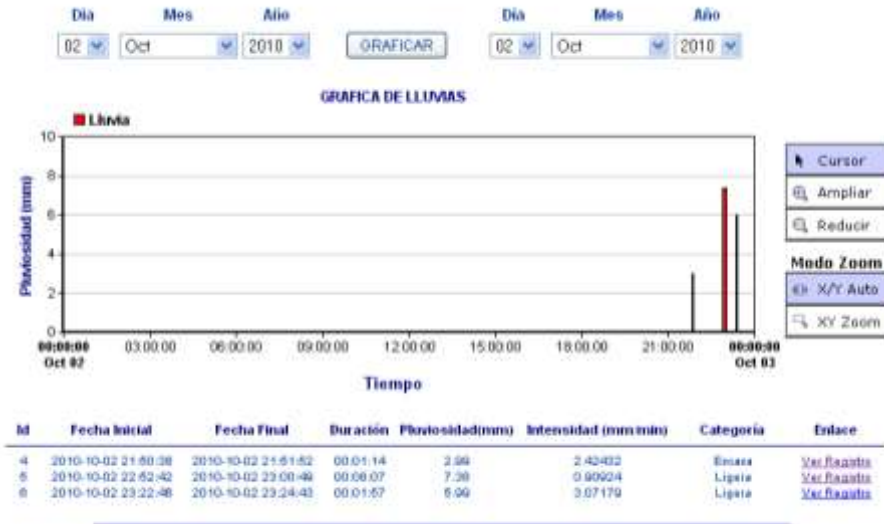


Figura A.42 Grafica de Lluvias.

Nota: Para las páginas que muestran información acerca de las lluvias, el enlace “Ver Registro”, ejecuta una página que presenta las características principales de cada lluvia, generando gráficas como “Curva Masa”, “Hietograma”, “Hietograma de Intensidades”, y la “Curva Intensidad Duración”. (Figura A.43).



Inicio | ADMINISTRAR | CONTACTO

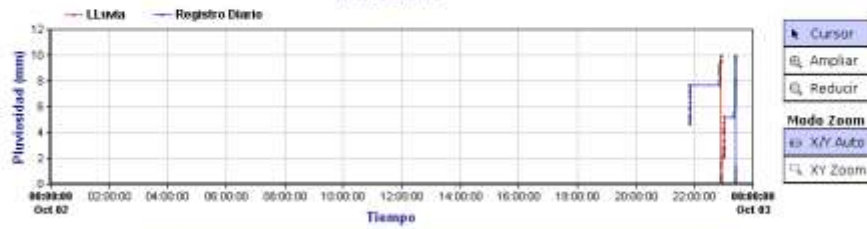
Datos para cada LLuvia

resultado lluvia...

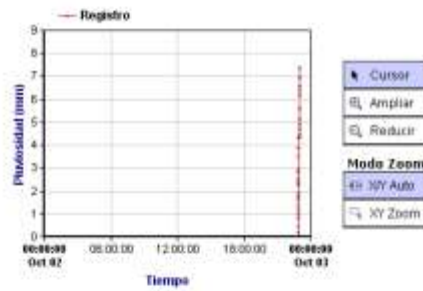
M	Tiempo Inicial	Tiempo Final	Duración (min)	Pluviósidad (mm)	Intensidad (mm/min)	Categoría
5	2010-10-02 22:52:42	2010-10-02 23:00:49	00:08:07	7.38	0.90924	Ligera

GRAFICAR

Pluviograma



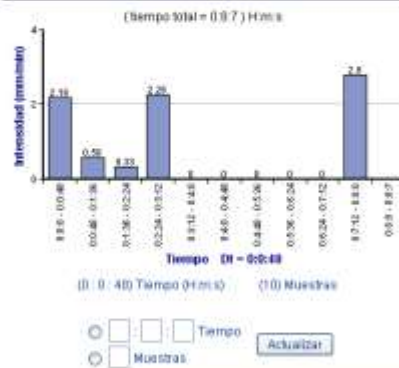
Curva Masa



Hietograma



Grafica de Intensidades



Curva Intensidad Duración (ID)



Figura A.43 Detalles de una lluvia.

La ampliación del Pluviograma muestra la distribución de la lluvia en observación (línea Roja) con respecto al Pluviograma total (línea Azul).

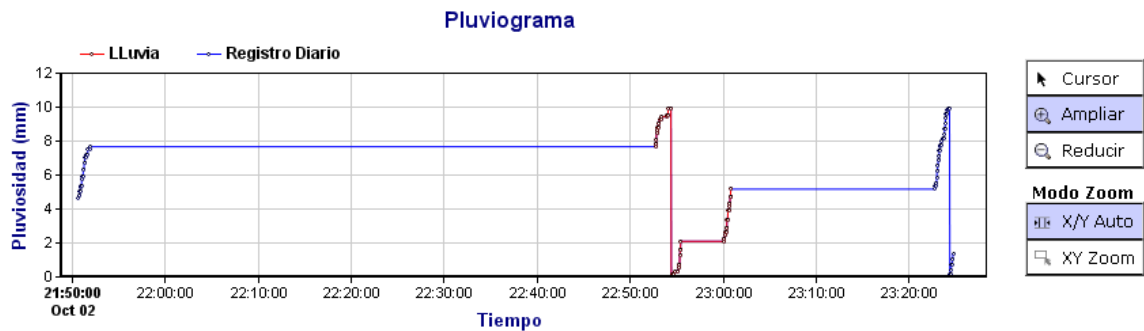


Figura A.44 Pluviograma ampliado.

La ampliación de la Curva Masa se muestra en la figura A.46.

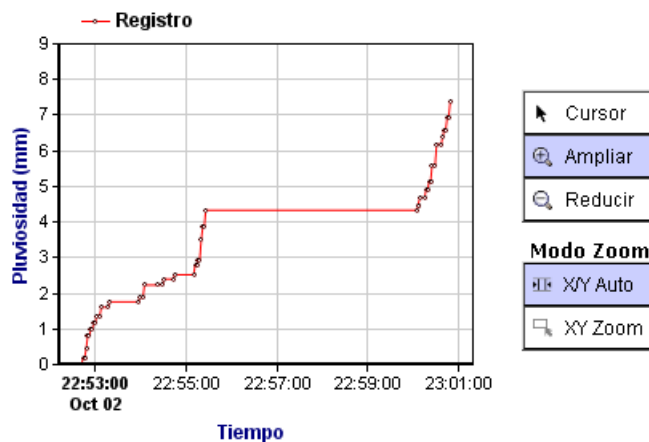


Figura A.45 Curva masa.

- **Sección de Validación de Usuarios (Administrador).**

Permite el acceso a las configuraciones de los parámetros que intervienen en el control de los datos del Pluviógrafo Electrónico. Este tipo de validación tiene un sistema de seguridad llamado "Captcha" que evita el acceso a usuarios no autorizados que usan programas para vulnerar contraseñas. Las letras de colores deben ser digitadas en la casilla de "Código", además posee un sistema de cambio de imagen cuando esta se presenta muy distorsionada.

Usuarios

Nombre:

Contraseña:




Código:

Figura A.46 Formulario de validación de usuarios (Administrador).

La página que se ejecuta después de un acceso correcto se presenta a continuación.

ESTACIÓN PLUVIOGRÁFICA
Facultad de Ingeniería Civil
Departamento de Hidráulica e Hidrología

Universidad Del Cauca
Popayán-Cauca
2010

Inicio | Acerca de | Contacto

Datos de Configuración

Rango de Tiempo Pluviograma (min)	5
Tiempo mínimo entre lluvias (min)	10
Valor punto mínimo del sensor	28
Medida desde 0mm hasta 10mm	860
Valor punto 10mm del sensor	852

Tabla de Desconexión

Id	Fecha Apagado	Fecha Encendido
1	2010-09-30 09:41:57	2010-09-30 09:41:57

Configuración de Parámetros de las Lluvias

El Pluviograma de la página principal muestra un gráfico que tiene un rango de tiempo que puede ser configurado mediante esta opción; la siguiente figura indica el parámetro que se modifica:

PLUVIOGRAMA (Rango de tiempo)

Mostrar Parámetro: 5 minutos

Rango de tiempo del gráfico "Pluviograma": minutos

La gráfica de flujos indica las lluvias con respecto a la hora de inicio y hora de finalización en el eje del tiempo, además de la pluviosidad total de la misma indicada por el eje vertical. Cuando no hay actividad en el sensor después de una lluvia por más de "X" minutos, la pluviosidad registrada después de ese tiempo hace referencia a una nueva lluvia. Este parámetro se indica en la figura de acuerdo a la cota TD.

GRÁFICA DE LAS LLUVIAS

Mostrar Parámetro: 10 minutos

Tiempo mínimo entre lluvias: minutos

Inicio | Acerca de | Contacto

© 2010 Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Civil, Departamento de Hidráulica e Hidrología. | Diseñado por: Grupo I+D Investigación de Automática Industrial

Figura A.47 Página Administrador.

- **Tabla "Datos de Configuración".**

Muestra los parámetros básicos de configuración que pueden ser modificados por el administrador. El parámetro de rango de tiempo de Pluviograma, hace referencia al tiempo del pluviograma que se presenta en la página de inicio. El parámetro de tiempo mínimo entre lluvias, establece el tiempo que diferencia una lluvia de otra, quiere decir que si ocurre una lluvia y pasados 10 minutos no cae lluvia, el tiempo final de la lluvia pasada queda indicado por el último registro que tiene un valor de incremento en la medición. El valor del punto mínimo del sensor indica el valor capturado por el software proveniente del circuito electrónico, asociado el punto más bajo que la plumilla adquiere,

además es el punto cero del papel pluviográfico. Y el parámetro de valor de punto 10 mm del sensor indica en punto donde la plumilla señala el valor de 10 mm en el papel.

Datos de Configuración	
Rango de Tiempo Pluviograma (min)	5
Tiempo mínimo entre lluvias (min)	10
Valor punto mínimo del sensor	28
Medida desde 0mm hasta 10mm	880
Valor punto 10mm del sensor	852

Figura A.48 Tabla de Datos de Configuración.

- **“Tabla de Desconexión”.**

Permite observar la fecha en que el equipo (Servidor) donde se aloja la página Web, cuando se interrumpe el proceso de captura de datos, generalmente debido a fallas de en el suministro de la energía eléctrica, además la tabla indica de la fecha de restablecimiento de la captura de datos. En los servidores es poco probable que sean afectados por las fallas de energía debido a que poseen sistemas de respaldo de energía.

Tabla de Desconexión		
id	Fecha Apagado	Fecha Encendido
1	2010-09-30 09:41:53	2010-09-30 09:41:53

Figura A.49 Tabla de desconexión.

- **“Menú Administrador”.**

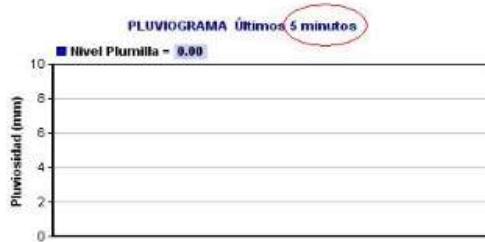
Menú Administrador
Parámetros de Lluvias
Mantenimiento Base de Datos
Copias de Seguridad
Cambiar Contraseña

Figura A.50 Menú administrador.

Menú “Parámetros de Lluvias”: El Pluviograma de la página principal muestra un gráfico que tiene un rango de tiempo que puede ser configurado mediante esta opción. Además La gráfica de lluvias indica las lluvias con respecto a la hora de inicio y hora de finalización en el eje del tiempo. Cuando no hay actividad en el sensor después de una lluvia por más de “x” minutos, la pluviosidad registrada después de ese tiempo hace referencia a una nueva lluvia. Este parámetro se indica en la figura A.51, de acuerdo a la cota TD.

Configuración de Parámetros de las Lluvias

El Pluviograma de la página principal muestra un gráfico que tiene un rango de tiempo que puede ser configurado mediante esta opción, la siguiente figura indica el parámetro que se modifica.



Rango de tiempo del gráfico "Pluviograma": minutos

La gráfica de Lluvias indica las lluvias con respecto a la hora de inicio y hora de finalización en el eje del tiempo, además de la pluviosidad total de la misma indicada por el eje vertical. Cuando no hay actividad en el sensor después de una lluvia por más de "X" minutos, la pluviosidad registrada después de ese tiempo hace referencia a una nueva lluvia. Este parámetro se indica en la figura de acuerdo a la cota TD.



Tiempo mínimo entre Lluvias : minutos

Figura A.51 Configuración de parámetros.

Menú "Mantenimiento de Bases de Datos": La opción de mantenimiento de bases de datos permite obtener información acerca de la condición de funcionamiento de la base de datos que almacena la información proveniente del Pluviógrafo Electrónico. Ver figura A.52.

Mantenimiento de la Base de Datos

Dirección del Servidor	Administrador	Contraseña
<input type="text" value="localhost"/>	<input type="text" value="root"/>	<input type="text"/>
Base de datos:	<input type="text" value="bd_pluviografo"/>	
<input checked="" type="checkbox"/> Listar	<input type="checkbox"/> Analizar	<input type="checkbox"/> Reparar
<input type="button" value="Ejecutar"/>		

Figura A.52 Mantenimiento de la base de datos.

Menú “Copias de Seguridad”: Diariamente se generan dos archivos (.txt y .sql), para almacenar una copia de seguridad de la información de la base de datos. Estos archivos se almacenan en el directorio raíz que contiene esta página Web. Mediante la opción de este menú, es posible cargar los datos que se encuentran en archivo “.txt”, para cargar la información del otro archivo se puede realizar desde la consola de MySQL. (Figura A.53).

Cargar Datos

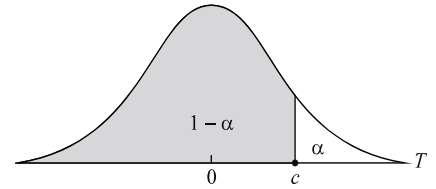
Esta opción permite agregar datos a la base de datos a partir de las copias de seguridad que se crean a diario. Los archivos se alojan en la capeta "Backup" del directorio raíz del Pluviografo Electrónico..

Selecciona el archivo que contiene los datos a cargar (.txt):

Figura A.53 Cargar datos de copias de seguridad.

ANEXO B. TABLA DE LA DISTRIBUCIÓN T-STUDENT.

$(1 - \alpha)$, nivel de aceptación.
 r , grados de libertad.



r	$1 - \alpha$							
	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	0.975	0.99	0.995
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
40	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
60	0.679	0.848	1.046	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	0.677	0.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
∞	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

