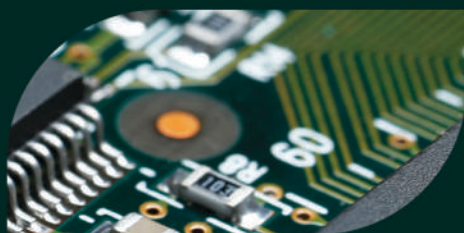


¿Cómo se creó el circuito integrado PIUVR

Wilson Oswaldo Baldeón López



ESPOCH
2023

¿Cómo se creó el circuito integrado PIUVR?

¿Cómo se creó el circuito integrado PIUVR?

Wilson Oswaldo Baldeón López



**Dirección de
Publicaciones**



esPOCH

¿Cómo se creó el circuito integrado PIUVR?

© 2023 Wilson Oswaldo Baldeón López

© 2023 Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Panamericana Sur, kilómetro 1 ½

Instituto de Investigaciones

Dirección de Publicaciones Científicas

Riobamba, Ecuador

Teléfono: 593 (03) 2 998-200

Código Postal: EC0600155

Aval ESPOCH

Este libro se sometió a arbitraje bajo el sistema de doble ciego
(*peer review*)

Corrección y diseño:

La Caracola Editores

Impreso en Ecuador

Prohibida la reproducción de este libro, por cualquier medio,
sin la previa autorización por escrito de los propietarios del
Copyright

CDU: 551.5 + 621.38

¿Cómo se creó el circuito integrado PIUVR?

Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Dirección de Publicaciones, año 2023

163 pp. vol: 17,6 x 25 cm

ISBN: 978-9942-44-266-6

1. Meteorología

2. Climatología

3. Electrónica

A Solange Baldeón.

A Efraín Baldeón.

A Sean Risley Baldeón.

RESUMEN

En este libro, se describe un nuevo enfoque para el diseño de circuitos electrónicos.

El aporte científico de esta obra incluye varias partes. La primera se encuentra conformada por el estudio del fenómeno físico denominado radiación ultravioleta cuyo resultado está en la formulación del modelo matemático del IUV para Riobamba, modelación que se realiza por primera vez en el mundo. La segunda está en el diseño del circuito integrado que calcula electrónicamente ese modelo matemático. Finalmente, esas dos partes llevan a una tercera que es un nuevo enfoque para diseñar circuitos integrados, completamente diferente al método tradicional que se enseña en las aulas universitarias.

Este nuevo enfoque para el diseño de circuitos electrónicos se encuentra conformado por dos partes bien definidas y son:

- Estudiar el fenómeno físico que sea de interés y cuantificarlo.
- Crear el circuito electrónico.

Este nuevo enfoque de diseño electrónico se describe a lo largo de la obra tomando como modelo el fenómeno físico denominado radiación ultravioleta y terminando con el diseño del circuito integrado.

La obra está dividida literalmente en dos partes. En la primera, se estudia y cuantifica el fenómeno físico radiación ultravioleta en Riobamba, Ecuador. Y, en la segunda, se diseña el circuito electrónico. Partes que están en concordancia con el enfoque de diseño electrónico que se propone.

ÍNDICE GENERAL

Glosario.....	10
Primera parte: estudio y cuantificación del fenómeno físico: radiación ultravioleta	12
Introducción	13
Capítulo I. Fundamentos para la predicción del IUV	16
1.1 Introducción	16
1.2 La radiación solar	16
1.3 El índice de radiación solar UV mundial	17
1.4 Cálculo del IUV	19
1.4.1 Métodos para determinar el IUV	20
1.5 Métodos para predecir el IUV	20
1.6 Modelos de transferencia radiativa	21
1.6.1 Tipos de modelos de transferencia radiativa.	21
1.6.1.1 Modelos de dispersión simple o espectrales rápidos.	22
1.6.1.2 Modelos de dispersión múltiple	22
1.7 Comparación entre modelos radiativos de predicción del IUV.....	23
1.8 Ajuste del modelo por nubosidad.	24
1.9 Determinación del CMF.	25
1.9.1 Tipos de nubes.	25
1.9.2 Medida de la nubosidad.....	27
1.9.3 Relación entre la nubosidad y el estado del cielo.....	29
1.9.4 Predicción del CMF.....	29
1.10 Investigaciones del IUV en la ESPOCH	30
1.11 Variación del IUV en Ecuador y Latinoamérica.....	30
1.12 Conclusiones	33
Capítulo II. Desarrollo del modelo de predicción del IUV	35
2.1 Introducción	35

2.2 Elección del tipo de modelo de transferencia radiativa.....	35
2.3 Desarrollo del modelo estadístico de predicción del IUV en cielo claro ...	35
2.4 Características del sensor UV seleccionado para medir la radiación solar ...	36
2.5 Determinación del voltaje en función del tiempo	37
2.6 Modelo matemático del voltaje de salida del sensor a cielo claro	37
2.6.1 Diagrama de dispersión de las mediciones del voltaje del sensor UV ..	39
2.7 El año Hipotético Meteorológico	42
2.8 Determinación del patrón de las mediciones del sensor UV a cielo claro ...	43
2.8.1 Análisis de los datos generados por el sensor UV a cielo claro	44
2.8.2 Desarrollo del modelo matemático del diagrama de dispersión de las mediciones del sensor UV a cielo claro	44
2.8.3 Desarrollo del modelo matemático gaussiano	46
2.8.4 Desarrollo del modelo matemático gaussiano de grado uno	46
2.8.5 Desarrollo del modelo matemático gaussiano de grado dos	47
2.9 Corrección del modelo matemático del voltaje del sensor al incluir las nubes	49
2.10 Predicción del CMF en Riobamba	51
2.11 Predicción del tipo de nubes en Riobamba por medio de Internet	52
2.12 Predicción de la nubosidad en Riobamba por medio de Internet	54
2.13 Lista de páginas web que informan el tiempo para Riobamba	54
2.14 Determinación del modelo matemático del sensor UVI-01	57
2.15 El IUV a cielo nublado	58
2.16 En consecuencia	59
Segunda parte: diseño del circuito electrónico	60
Introducción	61
Capítulo III. Desarrollo del prototipo electrónico.....	62
3.1 Introducción.....	62
3.2 Requerimientos de diseño del <i>hardware</i> del prototipo.....	62
3.3 Selección del Arduino MEGA 2560	63
3.4 Características técnicas del Arduino MEGA 2560	65
3.5 Lenguaje de referencia de los Arduinos	69
3.5.1 Estructuras	69
3.5.1.1 Estructura generales	69
3.5.1.2 Estructuras de control.	69
3.5.1.3 Sintaxis	70

3.5.1.4 Operadores aritméticos	70
3.5.1.5 Operadores de comparación	71
3.5.1.6 Operadores booleanos	71
3.5.1.7 Operadores de punto de acceso	71
3.5.1.8 Operadores bit a bit	71
3.5.1.9 Operadores compuestos	72
3.5.2 Variables	72
3.5.2.1 Constantes	72
3.5.2.2 Tipos de datos	73
3.5.2.3 Conversión	74
3.5.2.4 Variable Scope y cuantificadores	74
3.5.2.5 Utilidades	74
3.5.3 Funciones	74
3.5.3.1 Entradas salidas analógicas	75
3.5.3.2 Due solamente	75
3.5.3.3 Entradas salidas avanzadas	75
3.5.3.4 Tiempo	76
3.5.3.5 Matemáticas	76
3.5.3.6 Trigonométricas	76
3.5.3.7 Números aleatorios	77
3.5.3.8 Bits y Bytes	77
3.5.3.9 Interrupciones externas	77
3.5.3.10 Interrupciones	77
3.5.3.11 Comunicaciones	78
3.5.3.12 USB (Leonardo y Due solamente)	78
3.6 Selección del teclado	78
3.7 Selección del display de cristal líquido LCD	80
3.8 Diagrama de conexión del hardware del sistema electrónico	81
3.9 <i>Software</i> del dispositivo electrónico de predicción del IUV en Riobamba ..	82
3.9.1 Diagrama de flujo del programa para la predicción del IUV en Riobamba	82
3.9.2 El programa de predicción del IUV para el Arduino MEGA 2560 ...	89
3.10 En consecuencia	98
Capítulo IV. Validación del prototipo electrónico	99
4.1 Introducción	99
4.2 Validación de los resultados creados por el sistema electrónico a cielo nublado	99

4.3 Validación del software del sistema electrónico	100
4.4 El error en la predicción del sistema electrónico del IUV en Riobamba.....	102
4.5 En consecuencia	105
Capítulo V. Diseño del circuito electrónico integrado	106
5.1 Introducción	106
5.2 Lenguajes de descripción de hardware.....	106
5.3 Diseño del circuito integrado que pronostica el IUV en Riobamba.....	107
5.4 Desarrollo del programa en VHDL	109
5.5 Diagrama del circuito integrado creado	119
5.6 En consecuencia	122
Capítulo VI. Ubicación de la red de sensores en Riobamba	124
6.1 Introducción	124
6.2 Criterios para la ubicación geográfica de las estaciones en la ciudad...	124
6.3 Características geográficas de las estaciones	125
6.4 En consecuencia	128
Conclusiones y recomendaciones finales	129
Conclusiones finales	129
Recomendaciones finales	130
Referencias bibliográficas	131
Anexos	134
Anexo 1	135
Anexo 2	137

GLOSARIO

Arduino: empresa de desarrollo de *software* y *hardware* libres

BFS: Oficina Federal de Protección Radiológica

CIE: Commission Internationale de L clairage. Es un órgano internacional nacido en 1931 con sede en Viena, encargado del estudio de la luz, iluminación, color y espacios de color.

CMF: factor de corrección por nubosidad

DAM: desviación absoluta de la media

EMC: error medio cuadrado

Espectrorradi metro: dispositivo que permite cuantificar el espectro visible e infrarrojo de la luz

ICNIRP: Comisión Internacional de Protección de Radiación no Ionizante. Se encargan también de la radiación producida por los teléfonos celulares.

Irradiancia espectral solar: caracteriza a una fuente de luz

IUV:  ndice de radiación ultravioleta

LCD: display de cristal líquido

Matlab: aplicación informática aplicada a todos los campos de conocimiento. Su fortaleza radica en la evaluación y tratamiento de matrices y gráficos.

NOAA: Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica. Sus siglas provienen de National Oceanic and Atmospheric Administration

Octavas: en meteorología, la octa u octava es la medida de la cantidad de nubosidad

OMM: Organización Meteorológica Mundial

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Es el representante del medio ambiente ante las Naciones Unidas.

Radiación solar: energía electromagnética emitida por el Sol.

TOMS: Total Ozone Mapping Spectrometer

VHDL: lenguaje estándar del IEEE que describe circuitos digitales. Sus siglas provienen de VHSIC.

Primera parte.
Estudio y cuantificación del fenómeno físico radiación ultravioleta

INTRODUCCIÓN

Según el enfoque propuesto para la creación del circuito integrado, en esta primera parte, se estudia el fenómeno físico denominado radiación ultravioleta de origen solar, cuya importancia se describe a continuación.

Las variables meteorológicas, por la importancia que tienen para la humanidad, han sido estudiadas desde épocas muy remotas. Así, Aristóteles, en el año 350 A.C., fue el primero en introducir la palabra «meteorología» en su obra titulada *Meteorológica*, que trata específicamente los fenómenos atmosféricos. Consta de cuatro libros y fue el tratado de física más leído hasta el siglo XVII [1].

La palabra meteorología proviene de dos palabras griegas: *μετέωρον* y *λόγος*; la primera significa *metéoron* (*meteoro* - alto en el cielo) y la segunda, *logos* (conocimiento-tratado). Se define como una ciencia que es parte de la física atmosférica y estudia el estado del tiempo, el medio atmosférico, los fenómenos allí producidos y las leyes que lo rigen [2].

En la época de Aristóteles, la meteorología no pudo desarrollarse adecuadamente debido a la inexistencia de dispositivos que permitieran medir las variables meteorológicas. Esta ciencia inicia su auge en el año 1607, cuando Galileo inventa el termómetro para medir la temperatura ambiente. Luego, cronológicamente, se inventaron los siguientes instrumentos [3]:

- El barómetro, que mide la presión atmosférica y que fue inventado por Evangelista Torricelli en 1643.
- El anemómetro, que mide la velocidad del viento, que inventó Robert Hook en 1667.
- El higrómetro de cabello, que mide la humedad relativa, que inventó Horace de Saussure en 1780.

La recolección manual de la información generada por los distintos instrumentos meteorológicos es difícil, si no imposible, ya que estas varían a cada instante, cada día y cada año.

La recolección automática, el procesamiento y almacenamiento de la información de los diferentes instrumentos de medida ha sido posible gracias al desarrollo de la electrónica. En las últimas décadas, esta se ha desarrollado sustancialmente y ha permitido la creación de estaciones meteorológicas interconectadas alrededor del mundo entero. Los radares y satélites también son utilizados con este propósito. Internet es fundamental para la divulgación de la información meteorológica.

La recolección de las diferentes variables meteorológicas (temperatura, humedad, velocidad del viento, radiación solar, etc.) ha permitido, entre otras actividades, la modelación matemática de variables meteorológicas con fines de predicción. En el caso del índice de radiación solar ultravioleta (IUV), se han desarrollado y mejorado continuamente los modelos de transferencia radiativa solar mediante los cuales se predicen el IUV.

La radiación solar, específicamente la ultravioleta, es un caso particular de la meteorología y comienza a tomar auge en los años setenta. En esta década, estudios médicos demostraron que es la responsable del cáncer de piel en la población mundial, así como también de las afecciones oculares [4].

La radiación solar UV tiene un efecto significativo sobre los seres vivos, principalmente en lugares cercanos a la línea ecuatorial por estar más cerca del sol. Como ejemplos están Ecuador, Chile, Argentina, Colombia, Bolivia y Perú, entre otros. En varios de estos países, es común encontrar dispositivos electrónicos que indican el nivel de esta radiación en tiempo real [5]-[7].

En Ecuador, la literatura médica indica que hay una fuerte incidencia de cáncer de piel por la exposición indebida de los ciudadanos a la radiación solar UV. Según los estudios realizados a escala nacional por los diferentes hospitales, particularmente por la Sociedad de Lucha Contra el Cáncer de Ecuador (Solca), se registra un aumento del 57 % del cáncer de piel debido a la radiación solar UV [8].

Según Solca, en Ecuador, el cáncer de piel se ha convertido en la segunda causa de muerte. Esto se debe a que las personas no tienen una cultura de protección contra la radiación solar UV y no existen mecanismos tecnológicos de protección o advertencia sobre este peligro [9]-[10].

En Riobamba, Ecuador, el grupo de investigación Gitie de la Epoch fue el primero en medir el índice de radiación solar (IUV) para confirmar su alto valor.

El primer modelamiento del IUV a cielo claro en Riobamba se realizó usando una escala de IUV ya obsoleta porque el sensor utilizado respondía a aquella. Los modelos de IUV están continuamente desarrollándose en el mundo. En Latinoamérica, países como Chile, Argentina y Bolivia han realizado sustanciales contribuciones en este campo.

En Ecuador, la agencia espacial ecuatoriana (EXA) tiene estaciones meteorológicas en Guayaquil, Quito, Cuenca y Playas. Continuamente, y en tiempo real, informan de varios parámetros climatológicos, entre estos el IUV, por medio de su página web [12]. Sin embargo, en Ecuador no se ha desarrollado un sistema de predicción del IUV, ni se ha modelado la intensidad de la radiación solar en las bandas UV-A y UV-B.

Mientras más estudios se realicen de la radiación solar ultravioleta, estos permitirán entender de mejor manera cómo evoluciona y cuáles podrían ser los efectos positivos y negativos sobre la salud de los seres humanos. La electrónica puede recolectar automáticamente información del IUV y ponerla a disposición de la sociedad.

Este libro consta de una introducción, seis capítulos, conclusiones, recomendaciones y anexos. El primer capítulo presenta los fundamentos y los métodos de cálculo del índice de radiación solar UV mundial, las técnicas desarrolladas para predecir el IUV mediante los modelos de transferencia radiativa y se revisa la información del pronóstico del tiempo que está disponible en internet de varias entidades meteorológicas mundiales. En el capítulo segundo, se elige el modelo de transferencia radiativa que se va a utilizar para modelar el IUV en Riobamba. Luego, se desarrolla el modelo matemático de predicción del IUV.

CAPÍTULO I.

FUNDAMENTOS PARA LA PREDICCIÓN DEL IUV

1.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo presenta los fundamentos y los métodos de cálculo del índice de radiación solar UV, así como las técnicas desarrolladas para predecirlo mediante los modelos de transferencia radiativa según los estándares internacionales.

1.2 LA RADIACIÓN SOLAR

La Tierra recibe del Sol radiación electromagnética en una cantidad denominada constante solar, cuyo valor es igual a 1361 W/m^2 . Esta radiación electromagnética contiene radiaciones cuyas longitudes de onda van de 100 nanómetros (nm) a 4000 nm, que corresponden a la radiación ultravioleta, luz visible e infrarroja.

La radiación UV abarca aproximadamente desde los 100 nm hasta los 400 nm distribuida en tres bandas: UV-A, UV-B y UV-C.

La banda UV-A se extiende desde los 315 nm hasta los 400 nm, es poco absorbida en la atmósfera y el 99 % llega a la superficie terrestre. La banda UV-B va desde los 280 nm hasta los 315 nm, llega a la superficie terrestre en un 10 % y el 90 % de es absorbida por la atmósfera terrestre. La banda UV-C va desde los 100 nm hasta los 280 nm. Es la más dañina para la vida y es absorbida completamente por el oxígeno y el ozono de la atmósfera terrestre [13], [22].

1.3 EL ÍNDICE DE RADIACIÓN SOLAR UV MUNDIAL

El IUV permite informar, de una manera muy sencilla, la cantidad de radiación solar ultravioleta que llega a la superficie terrestre. Fue propuesto por la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la Organización Meteorológica Mundial (OMM), la Comisión Internacional para la Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP) y la Oficina Federal para Protección contra la Radiación (BFS).

El IUV es un número adimensional que representa a la cantidad de radiación solar UV que llega a la superficie terrestre y es un indicador de su capacidad para producir lesiones en la piel humana [13], [29]-[30].

Las recomendaciones que se deben seguir para informar a la población sobre el IUV fueron establecidas por los organismos internacionales indicados antes. El IUV está dividido en categorías o escalas. Cada categoría tiene su rango y su respectivo color. La OMS diseñó una escala que va del 1 al 11+ dividida en cinco rangos con sus respectivos valores y colores. Determinó también que el máximo nivel de IUV que un ser humano puede recibir es 11, si se alcanza o supera este valor sin protección existe un riesgo alto de sufrir daños en la piel (eritema) en un período de tiempo breve.

Los pictogramas propuestos para informar el IUV son los siguientes:

- El logotipo del IUV
- Los pictogramas de protección solar
- Los códigos de colores para los diferentes valores del IUV

Estos pictogramas y colores no tienen una base científica, son solo formas de hacer más atractiva la información que se pretende comunicar. Como se puede ver en la tabla 1.1, el IUV está dividido en cinco rangos y cada uno tiene un grupo de valores del IUV, un determinado color, una categoría de exposición y recomendaciones de protección.

Los valores del IUV están en números enteros del 1 al 11+.

Los colores son: verde, amarillo, naranja, rojo y morado. El color verde tiene los IUV más bajos (1 y 2) y la categoría de exposición más baja. El color

amarillo tiene los índices IUV moderados (3, 4 y 5). El color naranja tiene la categoría de exposición alto y contiene los IUV 6 y 7. El color rojo tiene los IUV 8, 9 y 10 y la categoría de exposición muy alta. El color morado tiene los IUV desde el 11+ hacia arriba y su categoría de exposición es extremo.

Tabla 1.1. IUV, rangos, colores y protección [13]

IUV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11+
Categoría de exposición	BAJO		MODERADO			ALTO MUY ALTO			EXTREMO		
Color	VERDE		AMARILLO			NARANJA		ROJO			MORADO
Protección	NO		SÍ Buscar sombra, usar camisa, crema de protección solar y sombrero					SÍ En forma extra, buscar sombra, usar camisa, crema de protección solar y sombrero. No salir a las horas centrales del día			
Riesgo	Sin riesgo		Horas centrales del día					Horas centrales del día			

En la figura 1.1, se muestra el código internacional de colores para informar el IUV a la población.

Figura 1.1. Código internacional de colores para informar el IUV [13]



La figura 1.2 muestra las recomendaciones de protección para cada rango de valores de IUUV.

Figura 1.2. Recomendaciones de proteccion para cada rango de IUUV [13]



1.4 CÁLCULO DEL IUUV

El IUUV se calcula tomando en consideración los siguientes parámetros:

- El espectro de acción de referencia de la Comisión Internacional sobre Iluminación (CIE) para el eritema inducido por la radiación UV en la piel humana (ISO 17166:1999/CIE S 007/E-1998)

- Para una superficie horizontal
- Es adimensional

La fórmula para calcular el IUUV es [13]:

$$I_{uv} = K_{er} \int_{280}^{400} E_{\lambda} S_{er}(\lambda) d\lambda \quad (1.1)$$

Donde:

- $E\lambda$ es la irradiancia espectral solar expresada en $W/(m^2.nm)$ a la longitud de onda λ
- $d\lambda$ es el diferencial de longitud de onda utilizado en la integración
- $S_{er}(\lambda)$ es el espectro de acción de referencia para el eritema, expresado en nm
- K_{er} es una constante igual a $40 m^2/W$

1.4.1 Métodos para determinar el IUV

Hay dos métodos para determinar el IUV. El uno es mediante cálculos basados en modelos matemáticos y el otro, mediante mediciones.

Para el caso de los cálculos basados en modelos matemáticos, se mide la irradiancia espectral $E\lambda$ mediante un espectrorradiómetro y se aplica la fórmula 1.1. Para el caso de las mediciones, se utiliza un sensor de banda ancha que debe estar calibrado adecuadamente para que muestre valores de IUV sin errores [13].

1.5 MÉTODOS PARA PREDECIR EL IUV

Predecir el IUV equivale a obtener el valor más alto que tendrá para el día analizado. Es un pronóstico diario de la cantidad *probable* de radiación ultravioleta que recibirá la superficie de la tierra durante la hora de máxima radiación en un lugar determinado [13].

Para predecir el IUV es necesario:

- Determinar la concentración del ozono total presente en la atmósfera junto con las propiedades ópticas del aerosol.
- Aplicar estos valores medidos a un modelo de transferencia radiativa.

El ozono total se obtiene por *predicción* mediante un método de regresión, para lo cual se utiliza un espectrorradiómetro ubicado en la superficie terrestre o en un satélite. Si no se considera la nubosidad, entonces el IUV es en cielo claro o despejado [14].

1.6 MODELOS DE TRANSFERENCIA RADIATIVA

Los modelos de transferencia radiativa posibilitan calcular la cantidad de irradiancia solar que llega a la superficie terrestre. Estos permiten:

- Comparar y comprobar la validez de los datos experimentales medidos con los valores estimados mediante los modelos.
- Entender mejor lo que le ocurre a la radiación solar al atravesar la atmósfera.
- Predecir los valores de la radiación solar en lugares donde no se hayan realizado mediciones.
- Predecir el índice IUV [4].

1.6.1 Tipos de modelos de transferencia radiativa

Los modelos de transferencia radiativa han sido clasificados de acuerdo con los siguientes parámetros:

- La estructura de la atmósfera
- El número de parámetros de entrada
- La complejidad del modelo

La estructura de la atmósfera puede ser de una sola capa, o de múltiples capas. El número de parámetros de entrada es la cantidad de variables que requiere el modelo de transferencia radiativa para ser evaluado. Si el modelo de trans-

ferencia radiativa es válido solo para una localización específica, se denomina de complejidad local. Si es válido para cualquier lugar del planeta, se lo conoce como global.

Según la complejidad del modelo, estos pueden ser clasificados como: [4]

- Dispersión simple o espectrales rápidos
- Dispersión múltiple
- Empíricos o estadísticos

1.6.1.1 Modelos de dispersión simple o espectrales rápidos

Estos modelos consideran a la atmósfera como constituida por una sola capa homogénea, tanto horizontal como verticalmente. Algunos de estos se indican a continuación [4].

- Modelo simple espectral solar
- Modelo simple de transferencia radiativa atmosférica de Sunshine
- UVA_GOA3
- UVA_GOA

1.6.1.2 Modelos de dispersión múltiple

Estos modelos son los más complejos y representan a los fenómenos que ocurren en la atmósfera en forma más cercana a la realidad. Consideran una atmósfera dividida en capas o planos paralelos, donde cada capa tiene la capacidad de absorber y dispersar la radiación. Supone que los parámetros atmosféricos (temperatura, ozono y aerosoles) están distribuidos en forma vertical a través de las distintas capas.

Algunos de estos modelos se indican a continuación [4]:

- Discrete Ordinate Radiative Transfer
- Tropospheric Ultraviolet and Visible Radiative Transfer
- Santa Barbara Disort Atmospheric Radiative Transfer
- Library for Radiative Transfer

1.7 COMPARACIÓN ENTRE MODELOS RADIATIVOS DE PREDICCIÓN DEL IUV

El IUV fue utilizado por varios investigadores para comparar los distintos modelos. Así, COST 713 «Predicción de UVB» comparó seis modelos de dispersión múltiple, ocho modelos espectrales rápidos y cuatro modelos empíricos [4]. En total, 18 modelos. Las conclusiones a las que llegó son:

- Los modelos de dispersión múltiple pronostican el IUV en el 80 % de los casos con un error de $\pm 0,5$ IUV.
- Los modelos de dispersión simple pronostican el IUV con un error de ± 1 .
- Los modelos estadísticos pronostican el IUV con mayor exactitud, pero tienen la limitación de hacerlo solo para la región para la cual fueron desarrollados.

Sin embargo, otros investigadores llegan a conclusiones diferentes. Por ejemplo, Cabo y Backer [4] independientemente comparan dos modelos de dispersión simple y dos modelos de dispersión múltiple. Sus conclusiones son coincidentes en los siguientes términos: los modelos de dispersión múltiple sobrestiman el índice UV y los modelos de dispersión simple subestiman el índice IUV.

La no coincidencia de los resultados de los diferentes modelos no es extraña puesto que cada uno tiene su forma particular de acumular errores debido a la incertidumbre de las variables atmosféricas [4]. Sin embargo, ninguno de los estudios cuestiona los resultados de los modelos empíricos o estadísticos, salvo que la validez es solo para la región para la que se modeló.

1.8 AJUSTE DEL MODELO POR NUBOSIDAD

Los modelos, como se indicó en este capítulo, se pueden desarrollar para cielo claro o cielo con nubosidad. Si un modelo ha sido desarrollado para cielo claro, puede ajustarse para la presencia de nubosidad [4], utilizando el siguiente modelo matemático:

$$IUV = IUVo * CMF * (1 + 0.08 * \Delta h) \quad (1.2)$$

Donde:

- IUV es el índice radiación solar UV pronosticado
- IUVo es el índice radiación UV para cielo claro y a nivel del mar
- CMF es el factor de modificación de las nubes
- Δh es la altura a la cual se va a pronosticar el IUV

La tabla 1.2 muestra los dos parámetros mediante los cuales se determina el factor de modificación de las nubes CMF (cloud modification factor). Uno es la medida de la nubosidad y el otro es el tipo de nubes.

Tabla 1.2. Factor de corrección para diferentes tipos de nubes y cubierta nubosa [4]

Nubosidad				
Octavas	0 – 2	3 – 4	5 – 6	7 - 8
Alta	1.0	1.0	1.0	0.9
Media	1.0	1.0	0.8	0.5
Baja	1.0	0.8	0.5	0.2
Niebla	-	-	-	0.4
Lluvia	-	-	-	0.2

1.9 DETERMINACIÓN DEL CMF

El CMF depende de dos parámetros, el uno es el tipo de nubes y el otro es la cantidad de nubosidad. Estos parámetros, por su importancia en meteorología, fueron adecuadamente definidos por la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

1.9.1 Tipos de nubes

De acuerdo con la OMM, las nubes, por el nivel atmosférico que ocupan, es decir, la altura a la que se encuentran, se clasifica como muestra la tabla 1.3.

Tabla 1.3. Clasificación de las nubes por la altura en la que se encuentran [15], [23].

Tipo	Altura	Descripción
Altas	entre 6000 m y 13 000 m	Formadas de hielo, con temperaturas inferiores a -35°C , y de contornos indefinidos. Incluyen a los cirrus, cirrostratus y cirrocumulus.
Medias	entre 2000 m y 6000 m	Formadas por agua y hielo, con temperaturas que oscilan entre -35°C y -10°C y aspecto mixto. Incluyen a los altocumulus, altostratus y nimbostratus.
Bajas	hasta 2000 m	Formadas por agua, con temperaturas superiores a los -10°C e incluso por encima de 0°C , y de contornos perfectamente definidos. Incluye a los stratocumulus y stratus, además de las nubes de evolución vertical (desde 600 m hasta 7000 m) cumulus y cumulonimbus.

Cada tipo de nube tiene su propia clasificación. La figura 1.3 muestra la clasificación de las nubes tipo altas.

Figura 1.3. Clasificación de las nubes tipo altas [15]



La figura 1.4 muestra la clasificación de las nubes tipo medias.

Figura 1.4. Clasificación de las nubes tipo medias [15], [24]



La figura 1.5 muestra de clasificación de las nubes tipo bajas.

Figura 1.5. Clasificación de las nubes tipo bajas [15]



1.9.2 Medida de la nubosidad

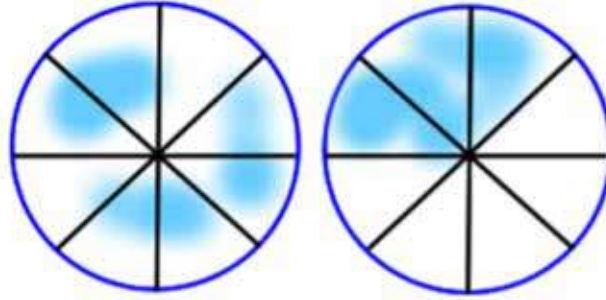
La nubosidad, o cantidad de nubes en el cielo, en un lugar en particular, es la fracción de cielo cubierto con nubes. Según las normas meteorológicas actuales, la nubosidad se determina a través de un *método visual empírico* cuya unidad de medida son las octavas, también denominadas octavos u octa.

El método visual empírico para medir la nubosidad consiste en los siguientes pasos:

- Se divide el cielo (bóveda celeste visible) en ocho partes.
- Se determina cuántas de estas ocho partes están llenas de nubes. Se asigna un cero a la parte si no contiene nubes. Se asigna 0,5 a la parte si la mitad de la parte contiene nubes. Se asigna uno a la parte si toda contiene nubes.
- Se suman los valores obtenidos de cada una de las ocho partes.

El cielo se divide en ocho partes como muestra la figura 1.6 del lado izquierdo, siete de esas partes contienen nubes, hay una pequeña nube en una parte; esa se suma a una de las partes para completar el 0,5. Las contribuciones de cada parte se agrupan mentalmente y se suman. El resultado, para este ejemplo, es tres octas. La figura 1.6 del lado derecho muestra este resultado. La suma total de las nubes se puede ver como contenidas en tres de esas ocho partes.

Figura 1.6. Determinación de la nubosidad total



La OMM asigna a cada parte de cielo un símbolo como muestra la figura 1.7.

Figura 1.6. Determinación de la nubosidad total

	Cielo despejado		5/8 de cielo cubierto
	1/8 de cielo cubierto		6/8 de cielo cubierto
	2/8 de cielo cubierto		7/8 de cielo cubierto
	3/8 de cielo cubierto		8/8 de cielo cubierto
	4/8 de cielo cubierto		Cielo oscurecido

1.9.3 Relación entre la nubosidad y el estado del cielo

Establecer la relación entre la cantidad de nubosidad y el estado del cielo es necesaria, puesto que las entidades meteorológicas normalmente incluyen la información del estado del cielo (despejado, nuboso, etc.) en lugar de las octavas.

La OMM clasifica al cielo según como muestra la tabla 1.4.

Tabla 1.4. Clasificación del estado del cielo [15]

Estado del cielo	Característica	Octavas
Despejado	Cuando no se observan formaciones de nubes.	0/8
Despejado con nublados aislados	Cuando se observan formaciones de nubes que cubren hasta el 15 % del cielo.	1/8
Medio nublado	Cuando las formaciones de nubes cubren del 15 % al 50 % del cielo.	2/8, 3/8
Nublado	Cuando las formaciones de nubes cubren del 50 % al 75 % del cielo.	4/8, 5/8 y 6/8
Nublado cerrado	Cuando las nubes cubren más del 75 % del cielo.	7/8 y 8/8

1.9.4 Predicción del CMF

La predicción del CMF se puede realizar con la información del tiempo que está disponible en internet para cualquier lugar del mundo. Según la tabla 1.2, para predecir el CMF, es necesario conocer la predicción de la nubosidad y la predicción del tipo de nubes.

Cientos de miles de páginas web tienen información gratuita, detallada y variada sobre el tiempo y, en particular, sobre las nubes. Pero, si se requiere información mucho más exacta de cualquier variable meteorológica, es necesario pagar una cierta cantidad de dinero al servidor de pronósticos del tiempo.

Los pronósticos del tiempo siempre estarán disponibles para cualquier lugar del mundo porque son indispensables para actividades diarias importantes de la humanidad como la navegación aérea, marítima, actividades agropecuarias, entre otras.

1.10 INVESTIGACIONES DEL IUV EN LA ESPOCH

El grupo de investigación Gitie de la Facultad de Informática y Electrónica de la EsPOCH, en el año 2011, midió por primera vez el IUV en Riobamba y encontró valores altos de radiación solar.

Este mismo grupo desarrolló un medidor difuso de radiación solar, denominado Infosolar, que medía el nivel de radiación solar mediante cinco indicadores luminosos. En la figura 1.8 se muestra este medidor [16].

La siguiente versión del Infosolar está basada en un conjunto de Arduino Mega 2560 y sensores ultravioletas de última generación- En un *display* de cristal líquido LCD grande, muestra el valor del IUV en tiempo real, además de otra información como los rangos de radiación UV y la forma como debe protegerse la gente frente a los diferentes niveles de radiación. Este Infosolar es alimentado por una celda solar de alta potencia por lo que no requiere conectarse a la red de energía eléctrica de la ciudad.

1.11 VARIACIÓN DEL IUV EN ECUADOR Y LATINOAMÉRICA

La variación del IUV en el mundo se representa mediante mapas, llamados mapas de IUV. La figura 1.9 muestra el mapa de variación del IUV de varios países. Como es lógico, los países que se encuentran cerca de la línea ecuatorial tienen la mayor cantidad de radiación UV por encontrarse más cerca del Sol por su posición geográfica.

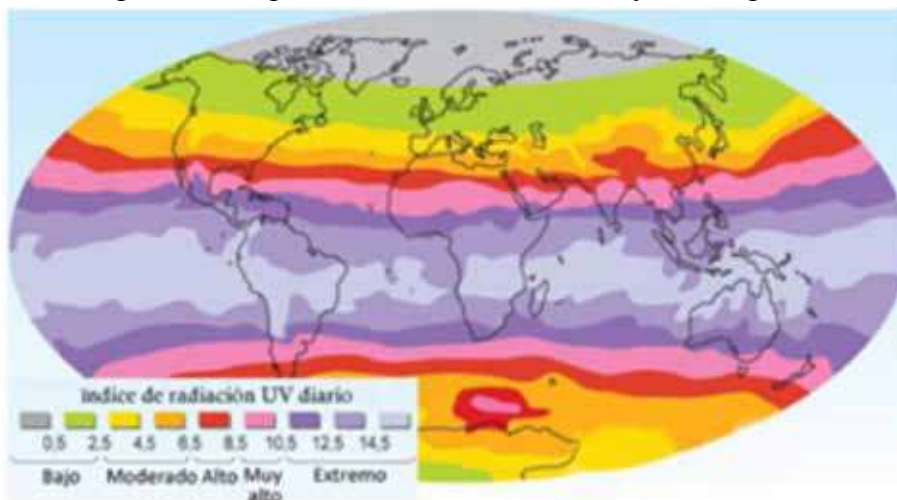
Figura 1.8. Medidor de radiación solar Infosolar



Estos mapas tienen una amplia gama de colores que, codificados adecuadamente, muestran la cantidad del IUV presente en alguna localidad. De esta manera, se logra tener una visión global de la variación del IUV.

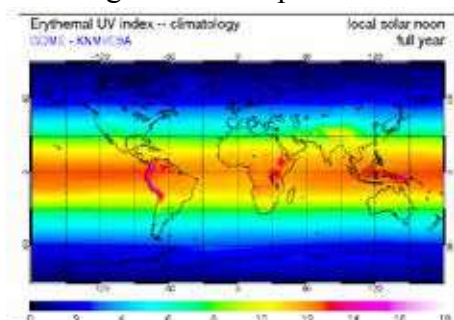
En el mapa IUV, se puede apreciar, en color lila, que Ecuador está entre los países de Latinoamérica que tienen la mayor radiación UV. Ahí se pueden apreciar valores superiores a 14,5 de IUV, que son valores extremos.

Figura 1.9. Mapa del IUV de Latinoamérica y otras regiones



La figura 1.10 muestra también un mapa de IUV, codificado en colores, donde se puede observar la región de América del Sur, donde se tienen valores extremos de IUV.

Figura 1.10. Mapa del IUV



La tabla 1.5 muestra una recopilación de solo los valores más altos de IUV registrados en América del Sur. Sin embargo, no son valores a cielo claro, pero son los máximos medidos que, comparados con los máximos a cielo claro de 16 IUV registrados en Riobamba, indican que efectivamente la ciudad está entre que tienen los valores más altos de IUV.

Tabla 1.5. Recopilación de valores extremos de IUV registrados

Autor	Ciudad	País	IUV	Año
Mercedes	Moquegua	Perú	19	2021
Sanclemente y Hernández	Medellín	Colombia	15	2010
Mayhua	Arequipa	Chile	15	2019
Cabrol	Volcán Lincancabur	Bolivia	26/43	2018/2003

1.12 CONCLUSIONES

- El cáncer de piel producido por la radiación solar es un problema de salud mundial del que debe estar consiente la humanidad.
- La radiación UV en Riobamba tiene valores a cielo claro que están entre los más altos de Latinoamérica.
- Respecto de la radiación UV, en Riobamba, nada se ha publicado, por lo que este es el primer trabajo que se presenta al respecto.
- Si se logra concientizar a la población riobambeña de que la radiación solar puede producir cáncer de piel, entonces disminuiría esta enfermedad.
- Una ciudadanía consciente del problema que pueden ocasionar, en su salud, los elevados niveles de radiación UV, podría ayudar a que el gobierno ahorre sustanciales recursos logísticos y económicos que ahora están destinados a combatir el cáncer de piel.

- Predecir el IUV es dar el valor más alto de IUV para el día que se pronostique.
- Los modelos de predicción estadísticos dan los mejores resultados en predicciones del IUV para puntos geográficos específicos (locales).
- El grupo de investigación Gitie fue el primero en medir y modelar el IUV en Riobamba.
- En Riobamba, en el año 2012, entró en operación el primer medidor difuso de radiación solar de Ecuador.

CAPÍTULO II. DESARROLLO DEL MODELO DE PREDICCIÓN DEL IUV

2.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo presenta los criterios para seleccionar el modelo de transferencia radiativa más adecuado para modelar el IUV. Además, se desarrolla el modelo matemático del IUV para Riobamba, Ecuador.

2.2 ELECCIÓN DEL TIPO DE MODELO DE TRANSFERENCIA RADIATIVA

Según lo expuesto en la sección 1.8 del capítulo 1, el modelo estadístico es el más adecuado para modelar la predicción del IUV para una localidad. Un objetivo de este trabajo es modelar el IUV para Riobamba. Por ser una ciudad pequeña, se selecciona el modelo estadístico.

2.3 DESARROLLO DEL MODELO ESTADÍSTICO DE PREDICCIÓN DEL IUV EN CIELO CLARO

Desarrollar directamente un modelo estadístico para cielo nublado es muy complicado porque es difícil determinar la posición y densidad de las nubes. Es más fácil encontrar primero un modelo estadístico para cielo claro (cielo azul sin nubes) y luego incluir las nubes mediante un factor de corrección CMF.

En el desarrollo de este modelo estadístico, se va a determinar el IUV siguiendo un procedimiento (protocolo) diferente al usado por cualquiera de los

métodos tradicionales que predicen el IUV. Estos métodos requieren de la predicción del ozono para ser evaluados. Predecir la concentración del ozono en la atmósfera requiere instrumentos especializados muy costosos. Así, por ejemplo, en Europa, la medición del ozono se realiza con el instrumento TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) que está sobre uno de los satélites de la NASA. Los EE. UU. utilizan el satélite NOAA para medir la concentración del ozono.

La presente investigación propone un método alternativo mucho más simple para predecir el IUV, usando el siguiente procedimiento:

- Medir, en el sensor ultravioleta, el voltaje de salida generado por la radiación solar en las bandas UV-A y UV-B cuando el cielo esté claro, por lo menos durante un año.
- Determinar el año hipotético.
- Desarrollar el modelo matemático del voltaje de salida del sensor, medido a cielo claro, empleando la técnica estadística de regresión.
- Desarrollar el modelo matemático del IUV a partir del modelo anteriormente desarrollado.
- Modificar la ecuación 1.2 para que sus variables queden en función del voltaje de salida del sensor.
- Desarrollar el modelo de predicción del IUV para cielo nuboso.

Este procedimiento marca una diferencia sustancial con los métodos de predicción típicos basados en la predicción del ozono, siendo esta una de las contribuciones originales de esta investigación.

2.4 CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR UV SELECCIONADO PARA MEDIR LA RADIACIÓN SOLAR

El sensor UV-01 seleccionado, fabricado por Reyax Technology Co. Ltd. tiene un precio de trece dólares. Entrega como salida un voltaje con una dependencia lineal con el IUV. En el anexo 1, se presenta las características adicionales.

2.5 DETERMINACIÓN DEL VOLTAJE EN FUNCIÓN DEL TIEMPO

Se toman medidas del voltaje de salida del sensor UV-01 durante un año, mediante un sistema de adquisición de datos basado en un computador portátil (HP Pavillion) y teniendo como interfaz de adquisición de datos el Arduino Mega 2560.

De acuerdo con el protocolo establecido por la OMS, la Organización Meteorológica Mundial, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y de la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación no Ionizante, se toman muestras del voltaje cada cinco minutos desde las 06:00 hasta las 18:00.

Para el análisis de los datos, se consideran solo los días que se hayan mantenido con cielo claro desde las 6:00 h hasta las 18:00 h, guardando para otro tipo de análisis los datos tomados en días con cielo nublado. Los datos se almacenan temporalmente según el formato de la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Formato para el almacenamiento de los datos

año-mes-día	
Hora	Voltaje del sensor (voltios)
6:00	
6:05	
....	...
18:00	

2.6 MODELO MATEMÁTICO DEL VOLTAJE DE SALIDA DEL SENSOR A CIELO CLARO

En trabajos de investigación, para comprender un fenómeno, es necesario estudiar la relación que existe entre todas las variables involucradas. En el presente estudio, las variables son la radiación solar UV, el voltaje de salida del sensor, la hora del día y el IUV.

La naturaleza y el grado de relación que existe entre las variables, pueden ser analizadas estadísticamente mediante dos técnicas: regresión y correlación.

El análisis de los datos con la técnica estadística de regresión se emplea para determinar la relación probable que existe entre las variables dependientes e independientes. Esta relación se establece mediante una ecuación matemática, a través de la cual se puede *predecir o estimar* el valor de la variable dependiente para un valor dado de la variable independiente.

Cuando se aplica la técnica estadística de regresión hay criterios que deben ser considerados para seleccionar un modelo matemático o ecuación matemática. Dos de ellos se indican a continuación:

- De una ecuación matemática hallada por regresión *no se puede generar una teoría científica* que explique el origen (la naturaleza) de la relación que hay entre las variables implicadas en el fenómeno que modelan. Solo se puede lograr una buena predicción acerca de cómo esas variables están relacionadas [17].
- Una ecuación matemática que contenga todos los puntos de un gráfico de dispersión (típico de los modelos polinomiales) es efectivamente el mejor modelo matemático que representa a esos puntos. Sin embargo, puede ser la peor ecuación matemática que represente al fenómeno físico investigado. Por ejemplo, cuando se realizan mediciones de voltaje y de corriente para una resistencia específica, el gráfico presenta puntos dispersos de las mediciones del voltaje en función de la corriente que no están sobre una misma recta. Un modelo matemático que represente a esos puntos debería dibujar una curva que pase por todos ellos, por tanto, se obtendría un modelo polinomial de grado alto que no representa el fenómeno físico que se conoce como la ley de Ohm.

Para aplicar la técnica estadística de la regresión, los pasos que hay que seguir son [17]:

- Realizar el diagrama de dispersión de las variables investigadas.
- Examinar el diagrama de dispersión para concluir si los puntos dibujados siguen algún patrón, que indicará el modelo matemático que se debe utilizar o verificar si el patrón responde a alguna teoría, experiencia o referencia conocida.

- Utilizar una herramienta informática para hallar el modelo matemático del diagrama de dispersión.

En esta investigación, se aplican estos pasos para determinar el modelo matemático de predicción del IUV en Riobamba.

2.6.1 Diagrama de dispersión de las mediciones del voltaje del sensor UV

Para realizar el diagrama de dispersión, se identifican las variables que se van a medir: la independiente es el tiempo, y la dependiente es el voltaje medido en la salida del sensor UV. Se recolectan los datos, durante un año, de estas dos variables. Una muestra de estos se presenta en la tabla 2.2 que corresponden a 145 valores medidos en un día.

Tabla 2.2. Muestra de los datos de las mediciones del voltaje de salida del sensor en un día

Viernes 16-01-2015					
Hora	Voltaje (voltios)	Hora	Voltaje (voltios)	Hora	Voltaje (voltios)
6:00	0	10:00	0,122	14:00	0,105
6:05	0	10:05	0,155	14:05	0,102
6:10	0	10:10	0,149	14:10	0,098
...	...	...	...	...	...
7:00	0,001	11:00	0,163	15:00	0,069
7:05	0,002	11:05	0,160	15:05	0,067
7:10	0,004	11:10	0,160	15:10	0,059
...	...	...	...	...	...
8:00	0,048	12:00	0,148	16:00	0,035
8:05	0,051	12:05	0,151	16:05	0,033
8:10	0,033	12:10	0,135	16:10	0,024
...	...	...	...	...	...
9:00	0,092	13:00	0,133	17:00	0,003
9:05	0,092	13:05	0,132	17:05	0,004
9:10	0,095	13:10	0,130	17:10	0,005
...	...	...	...	18:00	0

En el anexo 2, se presentan algunos datos recolectados para este estudio entre los últimos días de diciembre de 2014, y los meses de enero y febrero de 2015. En estos meses es cuando se tuvieron los días más claros de todo el año. En observaciones posteriores al año 2015, se pudo notar que estos meses siempre presentan estas características. La excepción se dio en enero y febrero de 2018, que fueron días lluviosos. Los demás meses del año tienen días con lluvias o días que no son claros.

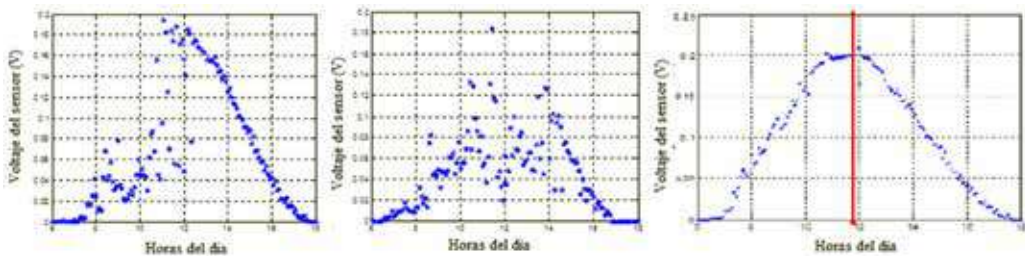
Tabla 2.3. Tabla de conversión de minutos a horas

Hora	H.T	Hora	H.T	Hora	H.T	Hora	H.T	Hora	H.T	Hora	H.T
6:00	6,00	7:00	7,00	8:00	8,00	9:00	9,00	10:00	10,00	11:00	11,00
6:05	6,08	7:05	7,08	8:05	8,08	9:05	9,08	10:05	10,08	11:05	11,08
6:10	6,17	7:10	7,17	8:10	8,17	9:10	9,17	10:10	10,17	11:10	11,17
6:15	6,25	7:15	7,25	8:15	8,25	9:15	9,25	10:15	10,25	11:15	11,25
6:20	6,33	7:20	7,33	8:20	8,33	9:20	9,33	10:20	10,33	11:20	11,33
6:25	6,42	7:25	7,42	8:25	8,42	9:25	9,42	10:25	10,42	11:25	11,42
6:30	6,50	7:30	7,50	8:30	8,50	9:30	9,50	10:30	10,50	11:30	11,50
6:35	6,58	7:35	7,58	8:35	8,58	9:35	9,58	10:35	10,58	11:35	11,58
6:40	6,67	7:40	7,67	8:40	8,67	9:40	9,67	10:40	10,67	11:40	11,67
6:45	6,75	7:45	7,75	8:45	8,75	9:45	9,75	10:45	10,75	11:45	11,75
6:50	6,83	7:50	7,83	8:50	8,83	9:50	9,83	10:50	10,83	11:50	11,83
6:55	6,92	7:55	7,92	8:55	8,92	9:55	9,92	10:55	10,92	11:55	11,92
12:00	12,00	13:00	13,00	14:00	14,00	15:00	15,00	16:00	16,00	17:00	17,00
12:05	12,08	13:05	13,08	14:05	14,08	15:05	15,08	16:05	16,08	17:05	17,08
12:10	12,17	13:10	13,17	14:10	14,17	15:10	15,17	16:10	16,17	17:10	17,17
12:15	12,25	13:15	13,25	14:15	14,25	15:15	15,25	16:15	16,25	17:15	17,25
12:20	12,33	13:20	13,33	14:20	14,33	15:20	15,33	16:20	16,33	17:20	17,33
12:25	12,42	13:25	13,42	14:25	14,42	15:25	15,42	16:25	16,42	17:25	17,42
12:30	12,50	13:30	13,50	14:30	14,50	15:30	15,50	16:30	16,50	17:30	17,50
12:35	12,58	13:35	13,58	14:35	14,58	15:35	15,58	16:35	16,58	17:35	17,58
12:40	12,67	13:40	13,67	14:40	14,67	15:40	15,67	16:40	16,67	17:40	17,67
12:45	12,75	13:45	13,75	14:45	14,75	15:45	15,75	16:45	16,75	17:45	17,75
12:50	12,83	13:50	13,83	14:50	14,83	15:50	15,83	16:50	16,83	17:50	17,83
12:55	12,92	13:55	13,92	14:55	14,92	15:55	15,92	16:55	16,92	17:55	17,92
										18:00	18,00

Antes de realizar el diagrama de dispersión con los datos del voltaje recolectados, se debe efectuar un cambio de escala en el eje del tiempo para convertirlas en horas transformadas (H.T). Para esto, es necesario convertir los minutos a fracciones de horas. Por ejemplo, las 10:30 corresponde a 10,50 horas. La conversión se muestra en la tabla 2.3.

Con la finalidad de mostrar lo complicado que es modelar a cielo nuboso, la figura 2.1 muestra tres ejemplos de diagramas de dispersión de las mediciones del voltaje de salida del sensor UV realizadas a cielo nuboso (gráfico al lado izquierdo y medio) y una a cielo claro (gráfico al lado derecho). Al examinar los diagramas de dispersión a cielo nuboso, se concluye que los puntos dibujados no siguen algún patrón conocido a diferencia del diagrama a cielo claro donde se ve con claridad su tendencia.

Figura 2.1. Diagramas de dispersión de las mediciones del voltaje en la salida del sensor UV realizadas a cielo nuboso y claro (gráfico de la derecha)



Para realizar el diagrama de dispersión a cielo claro, se analizan los datos recogidos durante un año del voltaje del sensor UV en diferentes días claros. Se presenta, en el anexo 2, un buen número de estas mediciones. En un día con cielo claro, el gráfico de dispersión debe aproximarse a una campana [18].

2.7 EL AÑO HIPOTÉTICO METEOROLÓGICO

Un año hipotético, en meteorología, se construye elaborando una representación por cada mes del fenómeno que sea de interés. En total, entonces, se tendrían doce representaciones del fenómeno.

Para este caso, se requiere construir una curva, voltaje-horas del día, que represente a cada mes del año. Para enero, que tiene treinta y un días, se tendrían treinta y una medidas y, de esas, se debe obtener una que represente a todo el mes de enero. Este mismo proceso se aplica a cada mes del año hasta tener doce curvas representativas, una por cada mes.

Al construir el año hipotético del voltaje del sensor-horas del día, se pudo notar que realmente no existe diferencia de mes a mes, es decir todas las curvas a cielo claro son, para fines prácticos, las mismas. Este fenómeno especial facilita la modelación porque finalmente se tiene una sola curva, voltaje del sensor-horas del día, para todo el año.

Este resultado no es extraordinario en Riobamba, ya que se dan fenómenos climatológicos muy extraños en ella. Por ejemplo, hay que tomar en cuenta que la ciudad está a 2700 metros de altura sobre el nivel del mar y, por ende, es una ciudad fría, de la serranía, que se había caracterizado por una temperatura máxima de diecisiete grados centígrados. Yendo contra toda lógica, Riobamba tiene hoy en día, año 2018, una temperatura máxima de 24 grados centígrados, temperatura propia de una ciudad de la costa ecuatoriana.

Riobamba estuvo sometida a la ceniza y a todos los productos propios de una erupción volcánica por más de diez años. El volcán Tungurahua está ubicado a solo 25 km de la ciudad. Seguramente esto modificó su medio ambiente. Riobamba también se caracteriza por tener un elevadísimo número de ciudadanos con cáncer de tiroides. Por otro lado, hay que tener presente que Ecuador se encuentra sobre la línea ecuatorial y dentro de la denominada zona tropical que se caracteriza por tener una radiación solar constante durante todo el año.

Esta radiación solar constante se pone de manifiesto con claridad en las ciudades de Quito y Cuenca. En el anexo 3, se pueden observar las mediciones del IUV realizadas, por la Agencia Espacial Ecuatoriana durante los años 2012 y 2013 para Quito y 2011 y 2012 para Cuenca. En esas mediciones, se ve con cla-

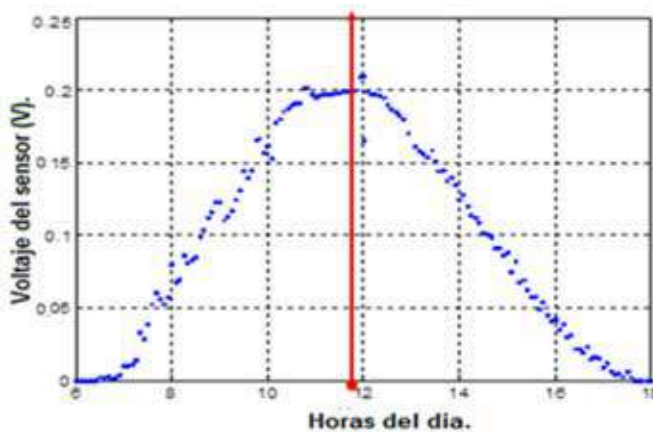
ridad que el máximo IUV es de 16 durante todos los meses, es decir que el IUV es constante.

Con estos antecedentes y luego de un análisis de las curvas de dispersión a cielo claro, se determinó que el diagrama de dispersión que representaría a todo el año es el mostrado en la figura 2.2.

2.8 DETERMINACIÓN DEL PATRÓN DE LAS MEDICIONES DEL SENSOR UV A CIELO CLARO

Para determinar la tendencia del IUV a cielo claro, se parte de la figura 2.2 que muestra la variación, medida, del IUV en función del tiempo.

Figura 2.2. Diagrama de dispersión de las mediciones del voltaje de salida del sensor UV realizadas a cielo claro



2.8.1 Análisis de los datos generados por el sensor UV a cielo claro

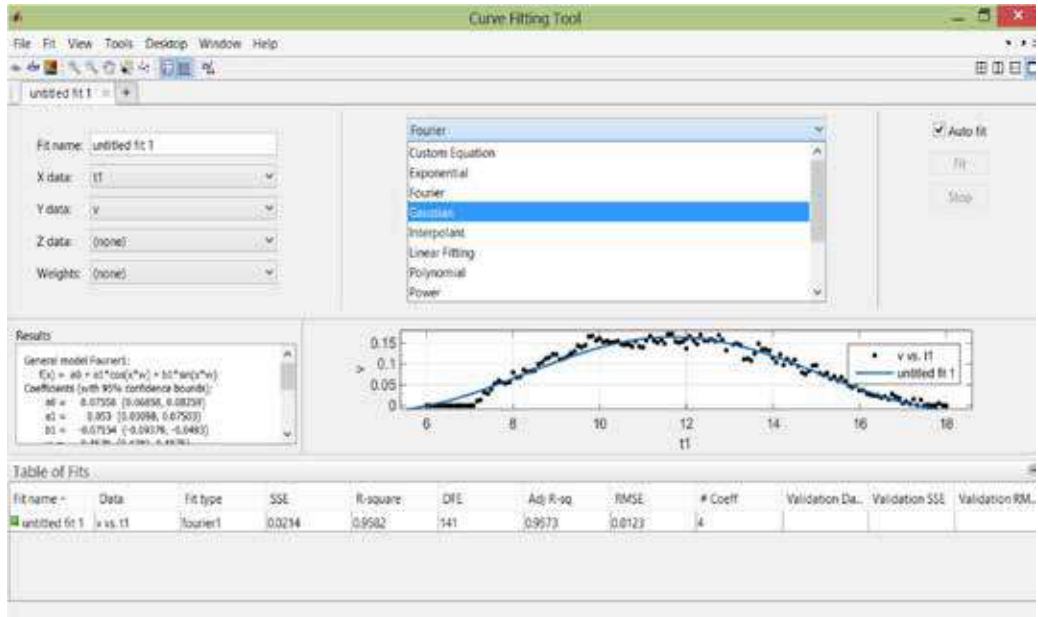
Un análisis de la distribución de los puntos del diagrama de dispersión de la figura 2.2, permite concluir lo siguiente:

- La distribución de los puntos no es exactamente simétrica y se debe a la presencia de nubes de poquísima densidad aún a cielo claro. En la práctica, es difícil tener un cielo completamente claro.
- La tendencia de la dispersión de los puntos es hacia una campana, centrada en las 11:55 (línea de color rojo).
- En el intervalo entre las seis y las siete de la mañana, el voltaje real a cielo claro debe ser ligeramente mayor al medido. Esta atenuación del voltaje se debe a la presencia de nubes blancas de poquísima densidad, el cielo es «casi claro» y es una característica de Riobamba en ese intervalo. Lo mismo ocurre entre las 17:00 y las 18:00.
- El IUV pronosticado es el valor más alto que tendría en el día para el cual se pronostica. En este caso, el valor más alto está alrededor del mediodía.

2.8.2 Desarrollo del modelo matemático del diagrama de dispersión de las mediciones del sensor UV a cielo claro

Para encontrar el modelo matemático del diagrama de dispersión de la figura 2.2 se utiliza el programa Matlab. Esta herramienta informática tiene funciones internas de ajuste de curvas y herramientas de ajuste interactivas que permiten modelar datos experimentales. La caja de herramientas de ajuste de curvas de Matlab permite realizar operaciones estadísticas especializadas y de ajuste de datos. Contiene una interfaz gráfica de usuario (GUI), que se muestra en la figura 2.3.

Figura 2.3. Ventana de la herramienta de ajuste de curvas

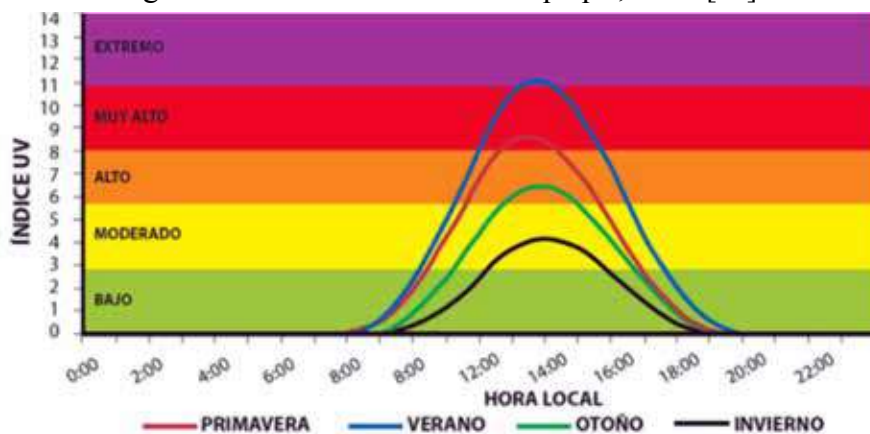


Matlab dispone de varios modelos matemáticos. Se debe seleccionar el que más se ajuste al *fenómeno* investigado donde es fundamental la experiencia acumulada. Si no se elige bien el modelo, puede suceder que se represente exactamente la relación entre las variables, pero no el fenómeno físico que se investiga. Para este estudio, son aplicables el modelo general de Fourier o el modelo general de Gauss, porque los dos permiten modelar este tipo de diagramas de dispersión.

El modelo de Fourier, por su naturaleza ondulatoria-sinusoidal, modela las curvas periódicas y que tienden al infinito en forma oscilante. El modelo de Gauss, por naturaleza, es una sola curva en forma de campana cuyos extremos rápidamente tienden a cero.

El fenómeno físico de la radiación solar UV tiene la forma de una campana de Gauss [18]. Como ejemplo, la figura 2.4 muestra como el IUV varía en forma de campana.

Figura 2.4. Variación del IUV en Iquique, Chile [18].



Por lo antes expuesto, existen dos razones suficientes para seleccionar el modelo gaussiano:

Representa adecuadamente al diagrama de dispersión en forma de campana.

Está en concordancia con la naturaleza gaussiana del fenómeno de la radiación solar.

2.8.3 Desarrollo del modelo matemático gaussiano

Los modelos gaussianos son de diferentes grados, por lo que se debe seleccionar el grado que se ajuste de mejor manera al diagrama de dispersión del fenómeno físico que se modela.

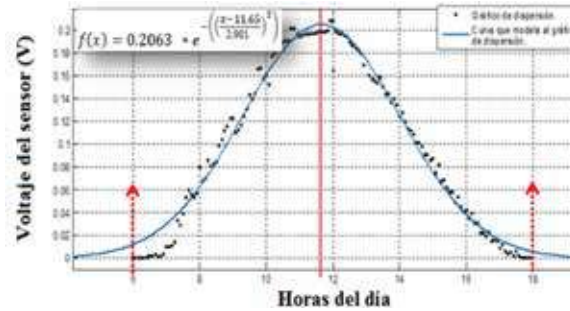
2.8.4 Desarrollo del modelo matemático gaussiano de grado uno

Con los datos de las mediciones del voltaje del sensor UV realizadas a cielo claro, se desarrolla utilizando Matlab la ecuación 2.0. En la figura 2.5, $f(x)$ es el modelo matemático gaussiano de grado uno hallado, donde los puntos negros

representan el diagrama de dispersión que se quiere modelar y la curva de color azul es el gráfico de $f(x)$ que representa la ecuación mostrada.

$$f(x) = 0.2063 * e^{-\left(\frac{(x-11.65)}{2.90161}\right)^2} \quad (2.0)$$

Figura 2.5 Curva del modelo gaussiano de grado uno



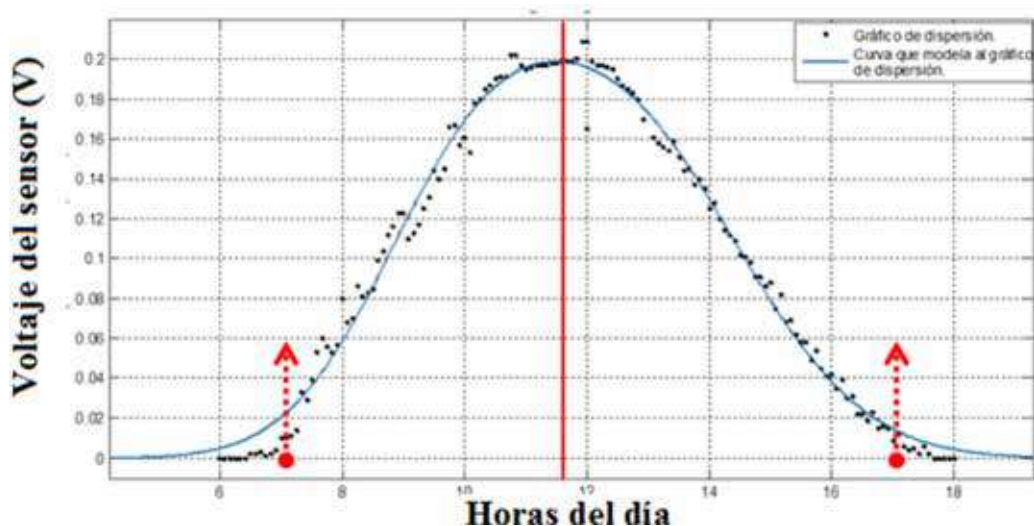
Un examen de $f(x)$ indica una sobrevaloración del voltaje alrededor de las 11:55, hora en la que precisamente se realiza la predicción.

2.8.5 Desarrollo del modelo matemático gaussiano de grado dos

Se mejora el modelo gaussiano incrementando su grado a dos. El resultado se muestra en la figura 2.6, donde la curva de color azul es modelada por la ecuación 2.1.

Del análisis de los puntos de dispersión de la figura 2.6, se concluye que el modelo descrito por la ecuación gaussiana de grado dos representa mejor a todos los puntos del diagrama de dispersión, incluso en los intervalos de 6:00 a 7:00 y de 17:00 a 18:00. Como se indicó antes, los valores medidos de los voltajes del sensor UV en esos intervalos están ligeramente atenuados por la presencia de nubes de pequeñísima densidad.

Figura 2.6. Curva del modelo gaussiano de grado dos



Este modelo gaussiano de grado dos además de representar la relación que hay entre el voltaje y la hora, representa también al fenómeno investigado cuya naturaleza física es la radiación solar UV.

La ecuación 2.1 es el modelo general gaussiano de grado dos generado automáticamente por la aplicación informática Matlab. La línea continua en color azul en la figura 2.6 es la representación gráfica de esta ecuación [29]-[30].

$$f(x) = a_1 * e^{-\left(\frac{(x-b_1)}{c_1}\right)^2} + a_2 * e^{-\left(\frac{(x-b_2)}{c_2}\right)^2} \quad (2.1)$$

Los coeficientes a_1 , b_1 , c_1 , a_2 , b_2 , y c_2 tienen el 95 % de confianza y sus valores promedio e intervalos son:

- $a_1 = 0,1686$ es el valor promedio y su intervalo está entre 0,1264 y 0,2108
- $b_1 = 12,46$ es el valor promedio y su intervalo está entre 11,67 y 13,26
- $c_1 = 2,901$ es el valor promedio y su intervalo está entre 2,453 y 3,349
- $a_2 = 0,08764$ es el valor promedio y su intervalo está entre 0,01377 y 0,1615

- $b_2 = 9,838$ es el valor promedio y su intervalo está entre 9,28 y 10,4
- $c_2 = 2,171$ es el valor promedio y su intervalo está entre 1,761 y 2,581

Reemplazando los respectivos coeficientes promedio en la ecuación 2.1, el modelo matemático que representa el voltaje del sensor para cielo claro se convierte en la ecuación 2.2 [29]-[30].

$$v(t) = 0,17 * e^{-\left(\left(\frac{t-12,46}{2,90}\right)^2\right)} + 0,09 * e^{-\left(\left(\frac{t-9,84}{2,17}\right)^2\right)} \quad (2.2)$$

La ecuación 2.2 es una contribución original de esta investigación, que será utilizada para predecir el voltaje de salida del sensor de radiación UV.

2.9 CORRECCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DEL VOLTAJE DEL SENSOR AL INCLUIR LAS NUBES

Para incluir el efecto de la nubosidad en el modelo matemático del voltaje a cielo claro, se utiliza la ecuación 1.2 del capítulo 1, repetida a continuación.

$$IUV = IUVo * CMF * (1 + 0.08 * \Delta h)$$

Donde:

- IUV es el índice de radiación UV pronosticado
- IUVo es el IUV para cielo claro y a nivel del mar
- CMF es el factor de modificación según el tipo de nubes
- Δh es la altura a la cual se va a pronosticar el IUV

El sensor que se utilizó para medir la radiación UV fue el UVI-01 fabricado por Ultraviolet Rays Detector. En el anexo 3, se presentan el desarrollo de la ecuación 2.3, que se indica a continuación. En esta ecuación se puede observar que el IUV es directamente proporcional al voltaje del sensor [29]-[30].

$$IUV = 78,1 v. \quad (2.3)$$

Donde v es el voltaje de salida del sensor en voltios e IUV es el índice de radiación ultravioleta y es adimensional puesto que las unidades de 78,1 es 1/voltios.

La ecuación 2.4 se optimiza al dividir la ecuación 1.2 para la constante de proporcionalidad del sensor que es igual a 78.1.

$$\left(\frac{IUV}{78,1}\right) = \left(\frac{IUV_0}{78,1}\right) \times CMF (1 + 0,08 * \Delta h) \quad (2.4)$$

Dónde el término $\left(\frac{IUV}{78,1}\right)$ representa el voltaje (v) de la ecuación 2.3 para cielo nublado y el término $\left(\frac{IUV_0}{78,1}\right)$ es el voltaje del sensor medido a cielo claro y a nivel del mar. Con estas consideraciones la ecuación anterior se transforma en:

$$v = v_0 * (1 + 0,08\Delta h) * CMF \quad (2.5)$$

Donde:

- v es el voltaje del sensor a cielo nublado
- v_0 es el voltaje del sensor medido a nivel del mar y a cielo claro.
- CMF es el factor de corrección por nubosidad
- $(1 + 0,08 \Delta h)$ es el factor de corrección por la altura a nivel del mar.

Se define la variable $v_1 = v_0 (1 + 0,08 * \Delta h)$, que es el voltaje del sensor a cielo claro que incluye la altura sobre el nivel del mar. Se reemplaza v_1 en la ecuación anterior y se obtiene que:

$$v = v_1 * CMF \quad (2.6)$$

Se comparan las ecuaciones 1.2 con 2.6 y se concluye que:

- v es el voltaje a cielo nuboso.
- v_1 es el voltaje que se mide en el sensor a cielo claro y a Δh metros sobre el nivel del mar

En la ecuación 2.6, se reemplaza v_1 por el modelo descrito en la ecuación 2.2 y se obtiene:

$$v(t) = (0,17 * e^{-\left(\left(\frac{t-12,46}{2,90}\right)^2\right)} + 0,09 * e^{-\left(\left(\frac{t-9,84}{2,17}\right)^2\right)}) * CMF \quad (2.7)$$

La ecuación 2.7 modela el voltaje de salida del sensor a cielo nuboso en Riobamba. El CMF debe ser determinado según el procedimiento que se indicó en la sección 1.10 del capítulo 1 [29]-[30].

Las ecuaciones 2.5 y 2.6 son locales, pero válidas para cualquier lugar donde se modele el voltaje a cielo claro con un sensor UV.

Las ecuaciones 2.2, 2.3, 2.5, 2.6 y 2.7 son una contribución original de esta investigación.

2.10 PREDICCIÓN DEL CMF EN RIOBAMBA

Como el IUV, de acuerdo a lo propuesto en la hipótesis de este trabajo de investigación (introducción), debe predecirse para las *siguientes* veinticuatro horas, también el CMF debe ser pronosticado para el mismo período.

Las veinticuatro horas *siguientes*, en este trabajo de investigación, debe entenderse desde las 6:00 del día de pronóstico hasta las 6:00 del día siguiente. El IUV desde las 18:00 del día del pronóstico hasta las 6:00 del día siguiente es cero y, por lo tanto, no peligroso. Por lo que el pronóstico realmente queda reducido al horario que va desde las 6:00 a las 18:00 del día del pronóstico.

Establecido de esta manera el horario del pronóstico, se pueden utilizar dos métodos para predecir el CMF de la tabla 1.2.

Para cualquiera de los dos métodos, se requiere información del tipo de cielo y de la cantidad de nubosidad.

Con el primer método, se predice la cantidad de nubosidad en octavas. Esta predicción debe iniciarse a las 6:00 del día del pronóstico. Para esto, se debe observar directamente el cielo y aplicar el método empírico de determinación de octavas descrito en el capítulo uno.

El tipo de nubes se puede predecir de dos maneras, la una consiste en comparar las nubes observadas directamente en el cielo con los gráficos de los diferentes tipos de nubes indicados en el capítulo 1. La otra consiste en predecir el tipo de nubes por medio de la predicción de la altura de las mismas, información que está disponible en las páginas web de internet que pronostican el tiempo.

Este primer método permite realizar el pronóstico del IUV exclusivamente para el día del pronóstico.

En el segundo método, el tipo de nubes y la cantidad de nubosidad se determinan consultando la información que está disponible en las páginas de pronóstico del tiempo en internet.

El tipo de nubes se determina consultando los pronósticos de la altura a la que se encontrara las nubes para el día analizado y, para pronosticar la cantidad de nubosidad, se utiliza el pronóstico del estado del cielo.

Con este segundo método, como los pronósticos del tiempo en internet están realizados para algunos días, se puede pronosticar el IUV para el día analizado, así como también para varios días.

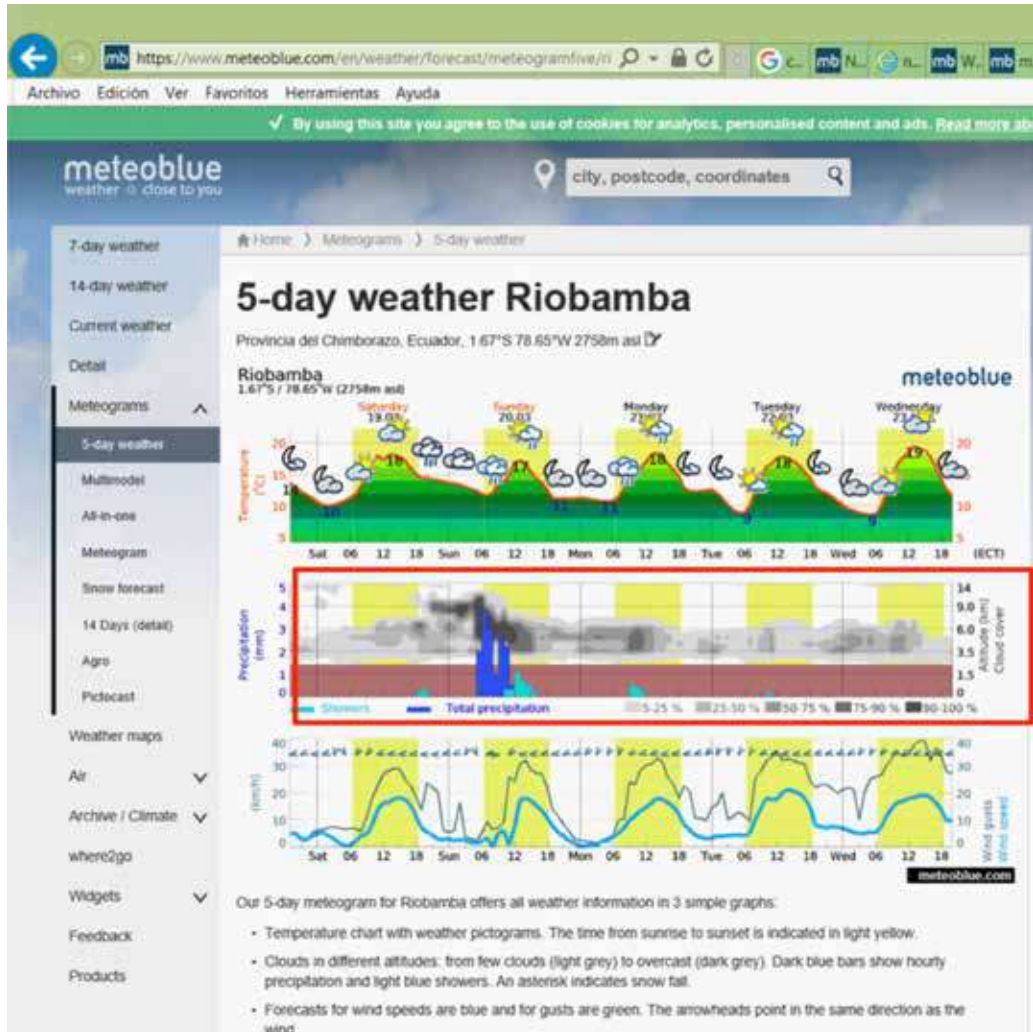
2.11 PREDICCIÓN DEL TIPO DE NUBES EN RIOBAMBA POR MEDIO DE INTERNET

Para determinar el CMF en Riobamba, se requiere el pronóstico de la *altura* a que se *encontrarán* las nubes para el día del pronóstico. Esta información puede ser tomada de los cientos de miles de páginas web disponibles en internet. Como ejemplo, se toma la página web cuya dirección es: https://www.meteoblue.com/en/weather/forecast/meteogramfive/riobamba_ecuador_3652350.

La figura 2.7 muestra información (resaltada con el cuadro rojo) de la predicción de la altura de las nubes (predicción del tipo de nubes) en Riobamba hasta para los cinco días posteriores.

Esta página web muestra la altura que *tendrán* las nubes en cada uno de los cinco días siguientes y, con este dato, se determina el tipo de nubes (alta, media o baja).

Figura 2.7. Página web con el pronóstico de la altura de las nubes en Riobamba [19]



2.12 PREDICCIÓN DE LA NUBOSIDAD EN RIOBAMBA POR MEDIO DE INTERNET

La predicción de la nubosidad, al igual que la predicción del tipo de nubes, se realiza mediante la información del tiempo proporcionada por las páginas web que se encuentran disponibles en internet. Es necesario aclarar que la nubosidad se encuentra en toda página web que informe el tiempo; sin embargo, el tipo de nubes no siempre está presente, por lo que habrá que buscar y seleccionar la página web más adecuada que contenga esa información.

La página web de la figura 2.7 muestra también el pronóstico de la nubosidad para cinco días posteriores, siendo una de las páginas que contiene la información completa requerida por la tabla 1.2.

2.13 LISTA DE PÁGINAS WEB QUE INFORMAN EL TIEMPO PARA RIOBAMBA

La figura 2.8 muestra un ejemplo de la gran cantidad de páginas web que contienen información del tiempo para Riobamba. Como se puede ver, en la consulta realizada mediante Google, hay 459 000 páginas presentadas en 0,42 segundos. Por lo tanto, la predicción del CMF siempre estará disponible.

Se listan a continuación algunas de las direcciones de estas páginas web:
[29]-[30]

- <http://186.42.174.231/pronostico/prediccion.htm>.
- http://www.meteored.com.ec/tiempo-en_Riobamba-America+Sur-Ecuador-Chimborazo--1-20215.html.
- <https://weather.com/en-GB/weather/today/l/-1.66,-78.68>.
- <http://www.accuweather.com/es/ec/riobamba/122060/weather-forecast/122060>.
- <http://clima.starmedia.com/sudamerica/ecuador/riobamba/>.

Figura 2.8. Lista de páginas web con información del tiempo para Riobamba



- <http://ec.pronosticodeltiempo.info/riobamba#pronostico-extendido>.
- <http://ec.pronosticodeltiempo.info/chimborazo>.
- <http://es.meteocast.net/forecast/ec/riobamba/>.
- <http://www.tutiempo.net/riobamba.html>.
- <http://chimborazo.locanto.com.ec/tiempo/pronostico/>.
- https://www.meteoblue.com/en/weather/forecast/week/riobamba_ecuador_3652350
- https://www.meteoblue.com/en/weather/forecast/meteogramfive/riobamba_ecuador_3652350

La primera página es la oficial del Ecuador, la del: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (Inamhi). La figura 2.9 muestra una parte de esta página. Allí se puede ver con claridad el tipo de nubosidad pronosticado.

Figura 2.9. Página web del Inamhi [20]

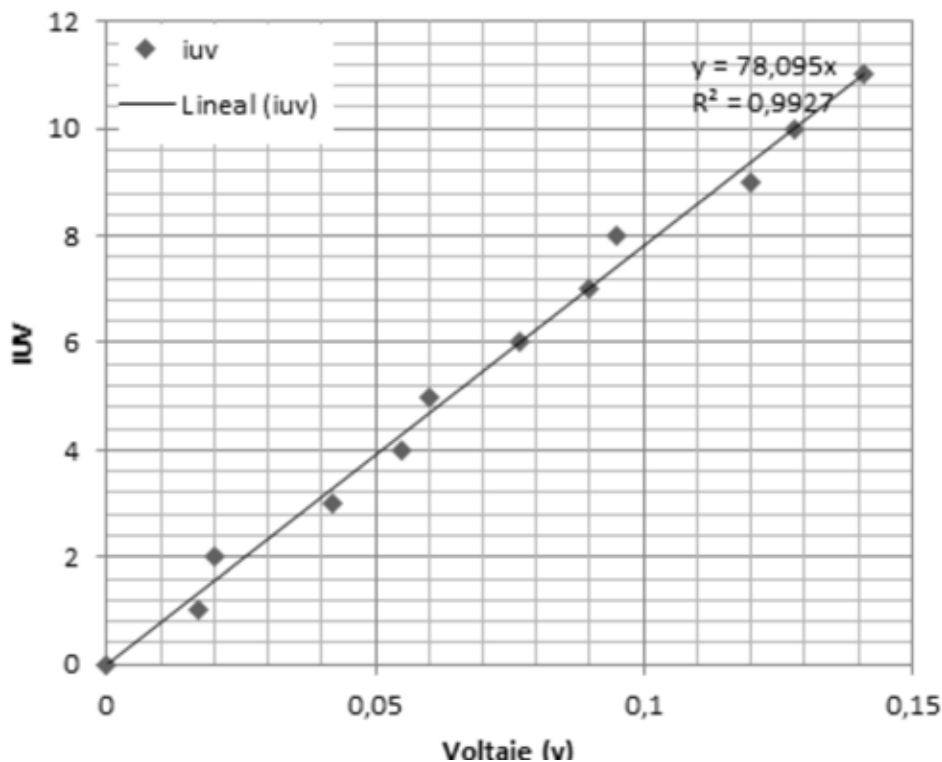
PRONÓSTICO CIUDADES "INTERANDINA"				
CIUDAD	CONDICIONES ATMOSFÉRICAS	FENÓMENO	TEMP:MIN	TEMP:MAX
TULCÁN	Nublado con claros, lloviznas.		9	21
IBARRA	Nublado con claros, lloviznas dispersas.		13	24
QUITO	Parcial nublado variando a nublado, chubascos dispersos. Niebla.		12	23
LATACUNGA	Nublado con claros, lloviznas aisladas.		11	22
AMBATO	Parcial nublado con incremento de la nubosidad, lloviznas. Niebla.		12	24
RIOBAMBA	Nublado con claros, lloviznas dispersas. Niebla.		12	23

2.14 DETERMINACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DEL SENSOR UVI-01

Para determinar la ecuación matemática que relaciona el IUV con el voltaje del sensor UVI-01, se toman medidas del voltaje del sensor en la ciudad de Guayaquil y se compara con la información de la estación meteorológica denominada EXA-ISS-1 Guayaquil. Se grafican los puntos. La figura 2.11 muestra el resultado.

Para determinar la tendencia de los datos, se toma como referencia la información proporcionada por el fabricante del sensor. De allí se conoce que existe una relación lineal entre el voltaje y el IUV.

Figura 2.10. Gráfico del IUV vs. el voltaje del sensor UV-01



Como se puede ver en la figura 2.11, Excel ajusta automáticamente los puntos y genera la ecuación matemática que relaciona el voltaje con el IUV, la ecuación de esta recta ajusta es:

$$y=78,095x \quad (2.8)$$

Donde, la variable y representa al IUV y la variable x al voltaje.

En la misma figura 2.11, R^2 indica cuál es la proximidad de correspondencia de los valores estimados con la línea de tendencia con sus datos reales. Así, $R^2 = 0,9927$ muestra que la proximidad de los valores de la recta ajustada con los medidos es de 0,9927.

Se redondean a dos decimales la constante 78,095 por que el Arduino Mega 2560 tiene una exactitud de hasta dos cifras decimales para cálculos matemáticos. Por lo tanto, la ecuación queda:

$$\text{IUV} = 78,10 \, v \quad (2.9)$$

Donde IUV es el índice de radiación ultravioleta y es adimensional, v es el voltaje de la salida del sensor en voltios y 78,1 es la constante de proporcionalidad en unidades de $1/\text{Voltios}$ o v^{-1} .

2.15 EL IUV A CIELO NUBLADO

Ningún día nublado se parece a otro, ya que la concentración de las nubes varía durante el transcurso del día, de los meses del año y de año a año, por lo que modelar directamente el IUV a cielo nuboso se hace poco práctico e imposible para un circuito de este tipo. Más bien, lo que se hace es utilizar el factor de corrección CMF para modelar el IUV a cielo nuboso a partir de un cielo claro, como se indicó anteriormente, técnica desarrolla por la comunidad científica europea y ampliamente utilizada.

Por supuesto, encontrar un cielo claro no es tampoco fácil. En países europeos, se han logrado establecer alrededor de 500 cielos claros en diez años. Esto da una idea de lo difícil que es encontrar un cielo claro.

En definitiva, se utiliza un cielo claro para evitar la complejidad del pronóstico de las nubes en el modelo matemático.

2.16 CONCLUSIONES

- Los modelos matemáticos del voltaje e IUV desarrollados son la contribución fundamental de esta investigación. Son los primeros modelos de predicción del voltaje e IUV establecidos para Riobamba.
- Los modelos matemáticos obtenidos son campanas gaussianas de grado dos que están en concordancia con el fenómeno físico radiación solar.
- Se ha propuesto un nuevo método para predecir el IUV como alternativa a los tradicionales. En el método desarrollado, se determina primero el modelo matemático de predicción del IUV para cielo claro y luego se corrige para cielo nublado.
- La aplicación informática Matlab permitió encontrar el modelo gaussiano en forma rápida y automática.
- Los modelos de predicción del IUV tradicionales requieren de la predicción de la concentración de ozono y del tipo de nubosidad. El modelo desarrollado requiere solo de la predicción de la nubosidad.

Segunda parte.
Diseño del circuito electrónico

INTRODUCCIÓN

Para continuar con el enfoque propuesto para la creación del circuito integrado, esta segunda parte presenta el procedimiento que se usó para el diseño e implementación del circuito electrónico en los capítulos tercero, cuarto, quinto y sexto.

En el capítulo tercero, con la finalidad de evaluar el modelo, se implementa el *hardware* y se desarrolla el *software* del sistema electrónico de predicción basado en el sistema de microcontrolador Arduino Mega 2560. En el capítulo cuarto, se evalúa experimentalmente el prototipo del sistema electrónico y se realiza un análisis de los aciertos del prototipo del sistema electrónico desarrollado. En el capítulo quinto, se describe la creación del circuito integrado, que predice el IUV en Riobamba, mediante el lenguaje de descripción de *hardware* VHDL. Finalmente, en el capítulo seis, se describe la ubicación de cada estación IUV en la ciudad de Riobamba y se comparan los valores de IUV medidos por las diferentes estaciones con la finalidad de verificar experimentalmente la variación de este índice en la ciudad.

CAPÍTULO III. DESARROLLO DEL PROTOTIPO ELECTRÓNICO

3.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo presenta las características tecnológicas del Arduino Mega 2560, la implementación del *hardware* y el desarrollo del *software* del dispositivo electrónico de predicción del IUV para Riobamba [30].

3.2 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO DEL *HARDWARE* DEL PROTOTIPO

Los requisitos del *hardware* surgen del problema científico, el objetivo y la hipótesis de esta investigación. Así, el sistema que va a diseñarse debe:

- Predecir el IUV en Riobamba según los estándares internacionales.
- Calcular el modelo matemático que prediga el IUV en Riobamba.
- Implementarse con la plataforma de hardware libre Arduino Mega 2560.
- Ser portátil.

La predicción de IUV se realiza mediante el cálculo de la ecuación matemática 2.7. El dispositivo debe tener capacidad en *hardware* y *software* para ejecutar esta tarea matemática y mostrar los resultados.

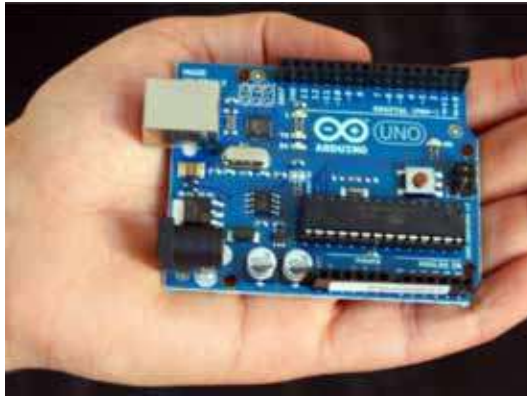
En la actualidad, ha tomado una impresionante popularidad en todo el mundo el concepto de *hardware* libre. Arduino es una plataforma electrónica basada en *software* y *hardware* libre, flexible y fácil de utilizar [21].

Un Arduino tiene un microcontrolador, puertos de entrada/salida, convertidores analógicos a digitales CAD, etc. integrados en un circuito impreso. El

software es libre y está disponible en internet en el sitio oficial de Arduino (<http://www.arduino.cc>), así como en un gran número de sitios web. Adicionalmente, existen foros de discusión y ayuda en línea para el desarrollo de proyectos.

La mayoría de los Arduinos se pueden encontrar en tiendas electrónicas de la localidad (Riobamba, Ecuador) y a precios módicos. La figura 3.1 muestra un Arduino Uno.

Figura 3.1. Fotografía de un Arduino Uno [21]



3.3 SELECCIÓN DEL ARDUINO MEGA 2560

Como se indica en la tabla 3.1, hay una gran variedad de Arduinos. Las características deseables del Arduino para la implementación del sistema electrónico propuesto están en función de la cantidad de memoria requerida para correr la aplicación desarrollada, la velocidad de procesamiento y la cantidad de puertos que necesitan para el *switch*, el teclado y el *display*.

Se requiere de una alta velocidad de procesamiento por los cálculos matemáticos que tiene que realizar el procesador.

La cantidad de memoria Flash queda determinada por el *sketch* del programa que utiliza 10 474 bytes. Por lo tanto, esta memoria debe ser por lo menos de 11 000 bytes.

La cantidad de memoria SRAM queda establecida por la cantidad de bytes que utilizan las variables globales y es de 995 bytes. Por lo tanto, esta memoria debe tener por lo menos capacidad para 1000 bytes.

Tabla 3.1. Tipos de Arduinos [21], [25]

Name	Processor	Operating	CPU	Ana.	Dig.	EEPROM	SRAM	Flash	USB	UART
		Voltage / Input	Speed	In / Out	IO / PWM	[KB]	[KB]	[KB]		
		Voltage	MHZ							
Uno	ATmega328	5 V/7-12 V	16	6/0	14/6	1	2	32	Regular	1
Due	AT-91SAM3X8E	3.3 V/7-12 V	84	12/2	54/12	-	96	512	2 Micro	4
Leonardo	ATmega32u4	5 V/7-12 V	16	12/0	20/3	1	2.5	32	Micro	1
Mega 2560	ATmega2560	5 V/7-12 V	16	16/0	54/15	4	8	256	Regular	4
Mega ADK	ATmega2560	5 V/7-12 V	16	16/0	54/15	4	8	256	Regular	4
Micro	ATmega32u4	5 V/7-12 V	16	12/0	20/7	1	2.5	32	Micro	1
Mini	ATmega328	5 V/7-9 V	16	8/0	14/6	1	2	32	-	-
Nano	ATmega168	5 V/7-9 V	16	8/0	14/6	0.512	1	16	Mini-B	1
	ATmega328					1	2	32		
Ethernet	ATmega328	5 V/7-12 V	16	6/0	14/6	1	2	32	Regular	-
Esplora	ATmega32u4	5 V/7-12 V	16	-	-	1	2.5	32	Micro	-
Arduino BT	ATmega328	5 V/2.5-12 V	16	6/0	14/6	1	2	32	-	1
Fio	ATmega328P	3 V/3.7-7 V	8	8/0	14/6	1	2	32	Mini	1
Pro (168)	ATmega168	3.3 V/3.35-12 V	8	6/0	14/6	0.512	1	16	-	1
Pro (328)	ATmega328	5 V/5-12 V	16	6/0	14/6	1	2	32	-	1
Pro Mini	ATmega168	3.3 V/3.35-12 V	8	6/0	14/6	0.512	1	16	-	1
		5 V/5-12 V	16							
LilyPad	ATmega168V	2.7-5.5 V / 2.7-5.5 V	8	6/0	14/6	0.512	1	16	-	-
	ATmega328V									
LilyPad USB	ATmega32u4	3.3 V/3.8-5V	8	4/0	09/4	1	2.5	32	Micro	-
LilyPad	ATmega328	2.7-5.5 V/2.7-5.5 V	8	4/0	09/4	1	2	32	-	-
Simple										
LilyPad	ATmega328	2.7-5.5 V/2.7-5.5 V	8MHz	4/0	09/4	1	2	32	-	-
SimpleSnap										
Yun	ATmega32u4	5 V	16MHz	12/0	20/7	1	2.5	32	Micro	1

El teclado y el *display* requieren de diecisiete puertos de entrada y salida digitales, diez para el *display* y siete para el teclado.

El interruptor requiere de un puerto analógico.

De la información de la tabla 3.1, el Arduino Due cumple con todos los requisitos indicados antes y es el más veloz (84 MHz). Sin embargo, no está disponible a la fecha, en Riobamba.

Los Arduinos que también cumplen con los requisitos indicados son el Mega 2560 y el Mega ADK. Se elige el Mega 2560 por ser más fácil de adquirir en Riobamba y, además, la propuesta de este trabajo es utilizar este Arduino.

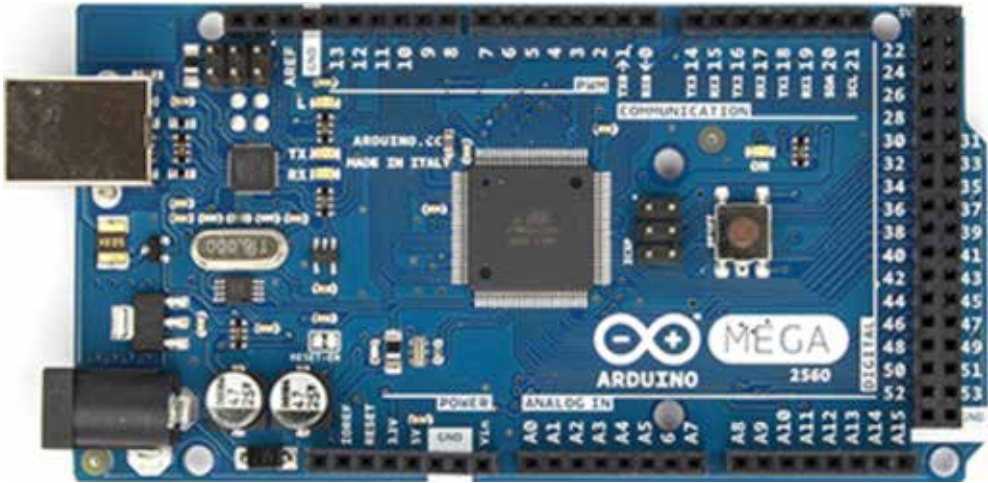
3.4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ARDUINO MEGA 2560

Las características técnicas del Arduino Mega 2560 son tomadas de la página web de Arduino [19].

El Arduino Mega 2560 se basa en el microcontrolador Atmega 2560, de Atmel. Dispone de cincuenta y cuatro pines digitales de entrada/salida, de los cuales quince se pueden utilizar como salidas PWM, dieciséis entradas analógicas, cuatro UART (puertos seriales), un oscilador de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un interruptor de reinicio. Montados sobre el circuito impreso, están todos los elementos electrónicos. Es suficiente conectarlo a un computador mediante un cable USB.

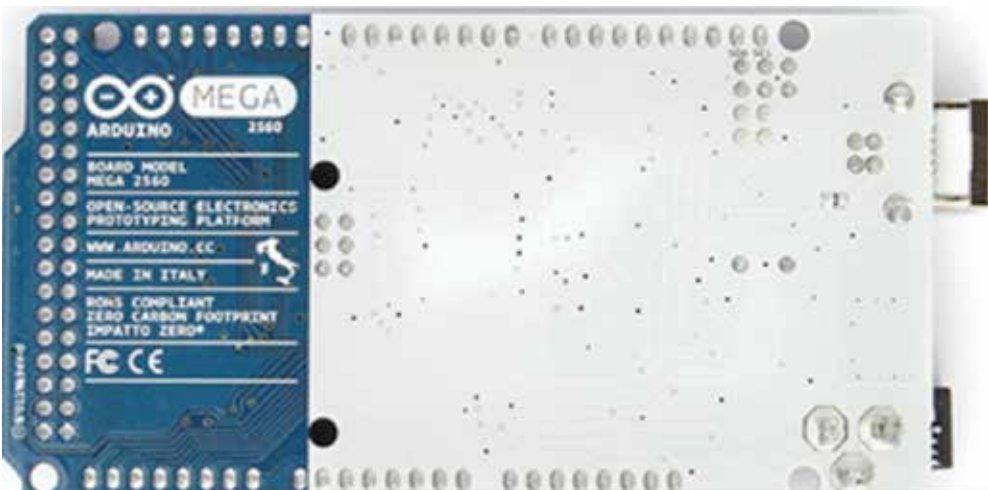
La figura 3.2 muestra una fotografía, tomada por el autor, de la vista frontal del Arduino Mega 2560.

Figura 3.2. Vista frontal del Arduino Mega 2560



La figura 3.3 muestra una fotografía tomada por el autor de la parte posterior del Arduino Mega 2560.

Figura 3.3. Vista posterior del Arduino Mega 2560



Las características técnicas del Arduino Mega 2560 se resumen en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Características técnicas del Arduino Mega 2560 [19], [26]

Tensión de funcionamiento	5 V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12 V
Voltaje de entrada (límites)	6-20 V
Pines digitales I / O	54 (de los cuales 15 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	16
Corriente DC por Pin I / O	40 mA
Corriente DC de 3.3V Pin	50 mA
Memoria Flash	256 KB con 8 KB para el gestor de arranque
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad del reloj	16 MHz

Los pines de alimentación del Arduino Mega 2560 son:

- **VIN**: voltaje de alimentación externo del Arduino. Por este pin se suministra energía al Arduino.
- **5V**: este pin genera, desde la placa, 5 voltios y 40 miliamperios (mA).
- **3V3**: este pin genera un voltaje de 3,3 voltios y una corriente de 50 miliamperios (mA).
- **GND**: pines de tierra.
- **IOREF**: este pin proporciona la tensión de referencia con la que trabaja el microprocesador del Arduino.

El Arduino Mega 2560 dispone de dos pines adicionales AREF y RESET. AREF se utiliza para establecer un voltaje de referencia externo para el convertidor CAD, y permite tener una referencia diferente de la alimentación. Se utiliza junto con la instrucción *analogReference ()*.

En el pin RESET, un nivel bajo coloca al microcontrolador en el estado de *reset*.

Memoria

Dispone de 256 KB de memoria flash para almacenar código, de los cuales 8 KB se utilizan para el gestor de arranque, 8 KB son de memoria SRAM y 4 KB de EEPROM, que puede ser leída y/o escrita mediante las librerías EEPROM LIBRARY.

Entrada y salida: cada uno de los cincuenta y cuatro pines digitales del Mega trabaja a cinco voltios y pueden ser entradas o salidas. En forma individual, para programarlos, se utilizan las funciones *pinMode ()*, *digitalWrite ()*, y *digitalRead ()*.

Cada pin puede proporcionar, o recibir, un máximo de 40 mA y posee una resistencia de *pull-up* (desconectado por defecto) de 20 KOhm a 50 KOhm.

Comunicación

El Arduino Mega 2560 puede comunicarse con un computador, con otro Arduino, o con otros Microcontroladores. El Atmega2560 tiene cuatro transmisores-receptores asíncronos universales (UART), para comunicación serial con niveles estándar TTL (5 V).

Tiene un puerto virtual COM generado a través del ATmega16U2 y un monitor serial que permite ver la información que está transmitiendo o recibiendo.

Dispone de dos LED sobre la placa, uno RX y otro TX, que parpadean cuando está transmitiendo o recibiendo datos. Existe una biblioteca de *software* para comunicación serial. También soporta comunicación TWI y SPI y dispone de una biblioteca de funciones para comunicación serial.

Programación

El Arduino Mega 2560 se programa con el *software* propio del Arduino. El microcontrolador del Arduino Mega 2560 puede ser también programado usando la tecnología programación serial en circuito (*in circuit serial programming*, ICSP) que consiste en volver a programar el microcontrolador sin necesidad de sacar este del circuito impreso. En el caso de los Arduinos, esta es una característica, dado que se programan y reprograman las veces que sean necesarias a través del puerto USB [27].

3.5 LENGUAJE DE REFERENCIA DE LOS ARDUINOS

Los programas Arduino están divididos en tres partes principales:

- Estructuras
- Variables y constantes
- Funciones

3.5.1 Estructuras

Las siguientes estructuras están disponibles para programar los Arduinos.

3.5.1.1 Estructura generales

- *setup ()*
- *loop ()*

3.5.1.2 Estructuras de control

- *if*
- *If else*
- *for*
- *switch case*
- *while*
- *do while*

- *break*
- *continue*
- *return*
- *goto*

3.5.1.3 Sintaxis

- ;
- { }
- // (comentario de una sola línea)
- /* */ (comentario en múltiples líneas)
- *#define*
- *#include*

3.5.1.4 Operadores aritméticos

- = (operador de asignación)
- + (suma)
- - (resta)
- * (multiplicación)
- / (división)
- % (módulo)

3.5.1.5 Operadores de comparación

- == (igual a)
- != (no igual a)
- < (menor que)
- > (mayor que)
- <= (menor o igual a)
- >= (mayor o igual a)

3.5.1.6 Operadores booleanos

- && (y)
- || (or)
- ! (no)

3.5.1.7 Operadores de punto de acceso

- * *dereference operator*
- & *reference operator*

3.5.1.8 Operadores bit a bit

- & (and)
- | (or)
- ^ (xor)

- `~` (not)
- `<<` (desplazamiento a la izquierda de un bit)
- `>>` (desplazamiento a la derecha de un bi)

3.5.1.9 Operadores compuestos

- `++` (incremento)
- `--` (decremento)
- `+=` (suma compuesta)
- `-=` (resta compuesta)
- `*=` (multiplicación compuesta)
- `/=` (división compuesta)
- `&=` (and compuesta)
- `|=` (or compuesta)

3.5.2 Variables

Del conjunto de variables, se tiene lo siguiente.

3.5.2.1 Constantes

- *HIGH | LOW*
- *INPUT | OUTPUT | INPUT_PULLUP*
- *LED_BUILTIN*

- *true | false*
- *integer constants*
- *floating point constants*

3.5.2.2 Tipos de datos

- *void*
- *boolean*
- *char*
- *unsigned char*
- *byte*
- *int*
- *unsigned int*
- *word*
- *long*
- *unsigned long*
- *short*
- *float*
- *double*
- *string - char array*
- *String - object*
- *array*

3.5.2.3 Conversión

- *char()*
- *byte()*
- *int()*
- *word()*
- *long()*
- *float()*

3.5.2.4 Variable Scope y cuantificadores

- *variable scope*
- *static*
- *volatile*
- *const*

3.5.2.5 Utilidades

- *sizeof()*
- *PROGMEM*

3.5.3 Funciones

- *Digital I/O*
- *pinMode()*

- *digitalWrite()*
- *digitalRead()*

3.5.3.1 Entradas salidas analógicas

- *analogReference()*
- *analogRead()*
- *analogWrite()* - PWM

3.5.3.2 Due solamente

- *analogReadResolution()*
- *analogWriteResolution()*

3.5.3.3 Entradas salidas avanzadas

- *tone()*
- *noTone()*
- *shiftOut()*
- *shiftIn()*
- *pulseIn()*

3.5.3.4 Tiempo

- *millis()*
- *micros()*
- *delay()*
- *delayMicroseconds()*

3.5.3.5 Matemáticas

- *min()*
- *max()*
- *abs()*
- *constrain()*
- *map()*
- *pow()*
- *sqrt()*

3.5.3.6 Trigonómicas

- *sin()*
- *cos()*
- *tan()*

3.5.3.7 Números aleatorios

- *randomSeed()*
- *random()*

3.5.3.8 Bits y Bytes

- *lowByte()*
- *highByte()*
- *bitRead()*
- *bitWrite()*
- *bitSet()*
- *bitClear()*
- *bit()*

3.5.3.9 Interrupciones externas

- *attachInterrupt()*
- *detachInterrupt()*

3.5.3.10 Interrupciones

- *interrupts()*
- *noInterrupts()*

3.5.3.11 Comunicaciones

- *Serial*
- *Stream*

3.5.3.12 USB (Leonardo y Due solamente)

- *Keyboard*
- *Mouse*

3.6 SELECCIÓN DEL TECLADO

La ecuación 2.7 requiere, para ser evaluada, el CMF (factor de corrección según el tipo de nubes) y la hora (t) a la cual se tendrá ese CMF. Estos dos valores se van a introducir al Arduino Mega 2560 mediante un solo teclado.

De la tabla 1.2, se concluye que, para veinte valores diferentes de nubosidad y doce horas, se requieren treinta y dos teclas (doce puertos digitales del Arduino). Este elevado número de teclas se puede reducir mediante una codificación, de la información de la tabla 1.2, como muestra la tabla 3.3.

La hora se ingresa con el mismo teclado. La hora debe ser ingresada en formato militar, por ejemplo: las dieciséis horas cero minutos se ingresan como: 1600, las 8 horas 25 minutos se ingresan como: 0825, es decir, no hay separación entre las horas y los minutos y siempre son cuatro dígitos.

Cada fila y cada columna del teclado requieren un puerto digital del Arduino. Para doce teclas, se tienen cuatro filas y tres columnas, con un total de siete pines (cables). Cada pin necesita de un puerto digital del Arduino, por lo que se requieren siete puertos digitales.

Figura 3.3. Vista posterior del Arduino Mega 2560

Nubosidad								
	octavas	Tecla	3-4	Tecla	5-6	Tecla	7-8	Tecla
Alta	1	1	1	0	1	3	0,9	9
Media	1	1	1	7	0,8	6	0,5	*
Baja	1	1	0,8	8	0,5	5	0,2	2
Niebla	-		-		-		0,4	4
Lluvia	-		-		-		0,2	#

Mientras mayor sea el número de teclas, mayor es el número de filas y columnas, por lo que se incrementa también el número de puertos digitales requeridos del Arduino. Esta es una razón importante para escoger un teclado con el menor número de teclas posible.

El teclado seleccionado es el que se indica en la figura 3.4, por ser ultra delgado, flexible y de solo doce teclas. No posee marca de fabricante alguno.

Figura 3.4. Codificación de cada tecla con cada tipo de nubosidad



El dispositivo electrónico tiene un *switch* o interruptor conectado entre la entrada analógica A8 y tierra. Si el valor de A8 es cero voltios, el dispositivo muestra el IUV y la hora a la que ocurre ese valor de IUV. Si el puerto A8 tiene un voltaje mayor o igual a 4,5 voltios el dispositivo está listo para realizar otra predicción.

3.7 SELECCIÓN DEL *DISPLAY* DE CRISTAL LÍQUIDO LCD

Una pantalla de cristal líquido – LCD (*liquid cristal display*) es plana, delgada y tiene un número de píxeles monocromáticos o de diferentes colores, como verde, azul, o amarillo. Todos los *displays* de este tipo difieren solo en el color; por lo tanto, el parámetro de selección es el color. El *display* de color verde tiene un brillo más intenso, a diferencia del de color azul cuyo brillo es opaco [28].

El *display* seleccionado se muestra en la figura 3.5. Tiene dos filas de dieciséis caracteres cada una para dar un total de treinta y dos caracteres.

Figura 3.5. LCD 2 x 16



El *display* seleccionado es el JHD 162 A, que posee dieciséis pines, los cuales se indican en la figura 3.6. Los pines 1, 2 y 3 son de alimentación; 4, 5 y 6 son de control. Los pines del 7 al 14 son de datos (Do-D7) mientras el 15 y 16 controlan la intensidad de la luz de cada pixel.

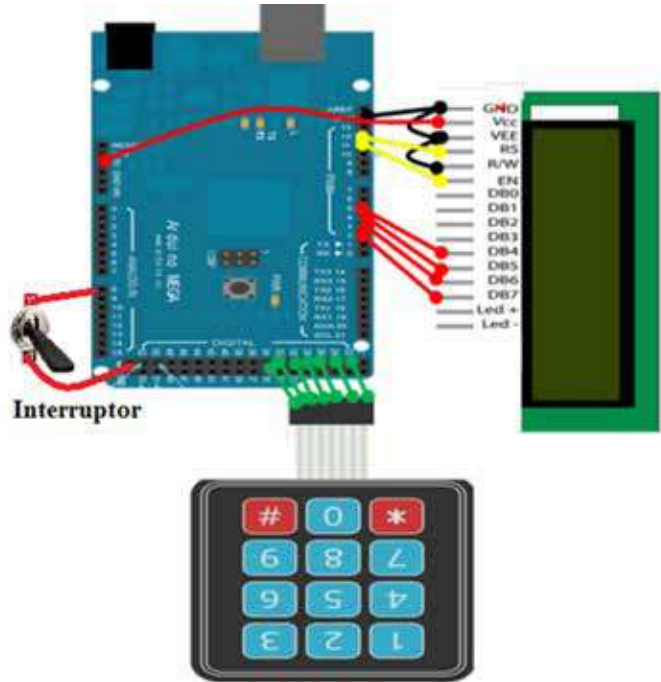
Figura. 3.6. Distribución de pines del LCD JHD 162 A (fuente JHD)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
VSS	VCC	VEE	RS	R/W	E	DB0	DB1	DB2	DB3	DB4	DB5	DB6	DB7	LED+	LED-

En total se requieren diez pines: siete para datos y control (pines 4, 5, 6) y tres para el control de la iluminación y energización del LCD.

3.8 DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL *HARDWARE* DEL SISTEMA ELECTRÓNICO

Figura. 3.7. Distribución de pines del LCD JHD 162 A (fuente JHD)



En la figura 3.7, se muestra el diagrama de conexiones completo del Arduino, el teclado y el *display* LCD. En la figura 3.8, se muestra una fotografía de la vista superior del Arduino Mega 2560 con el teclado y *display*

Figura. 3.8. Foto del Arduino Mega 2560

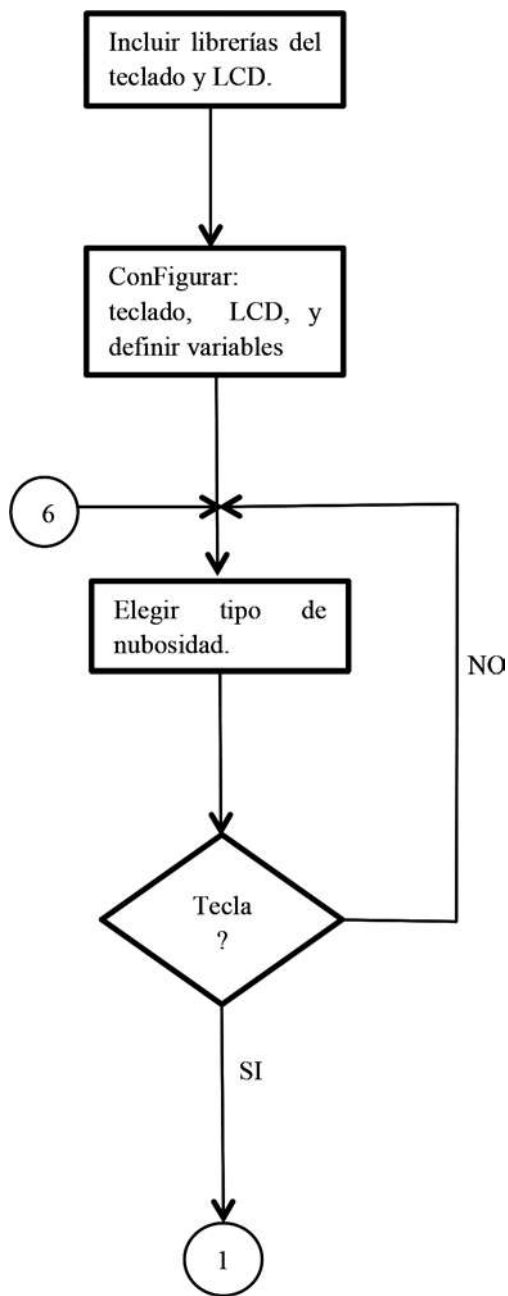


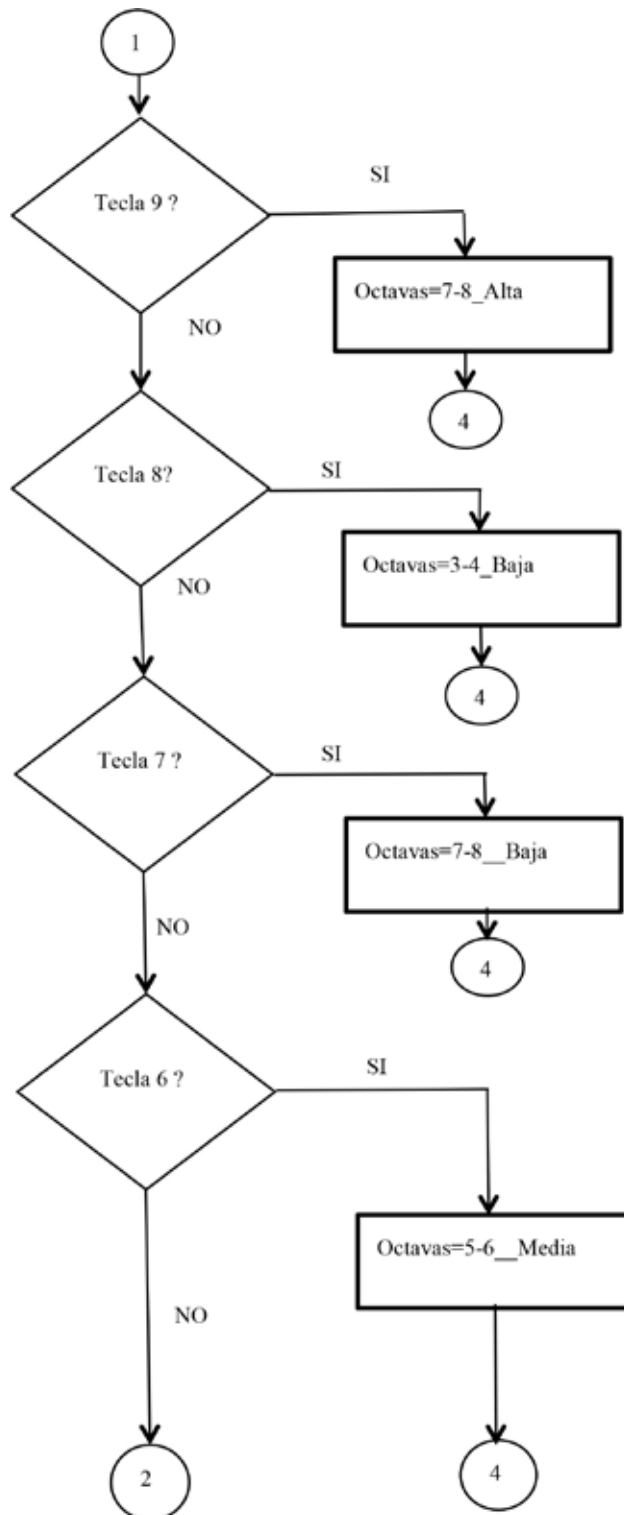
3.9 SOFTWARE DEL DISPOSITIVO ELECTRÓNICO DE PREDICCIÓN DEL IUV EN RIOBAMBA

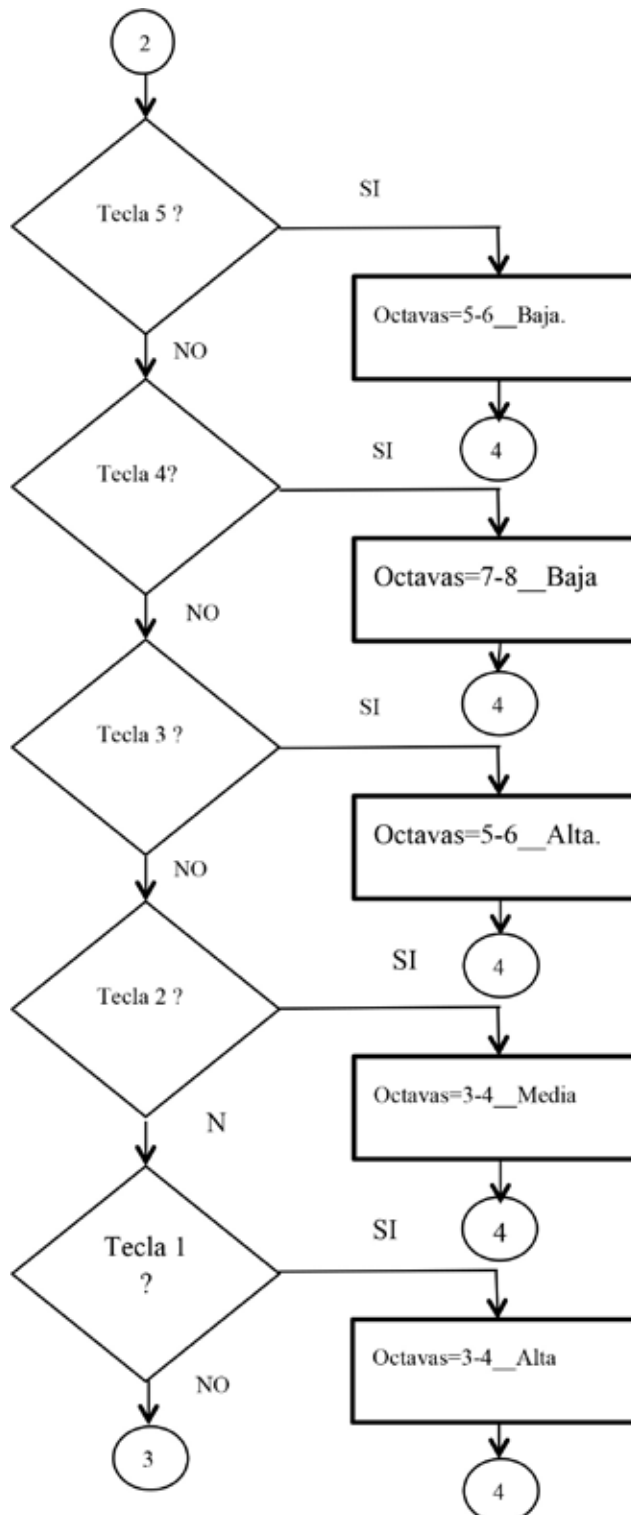
Para el desarrollo del *software*, se elabora un diagrama de flujo y luego se codifica en el lenguaje propio del Arduino [30].

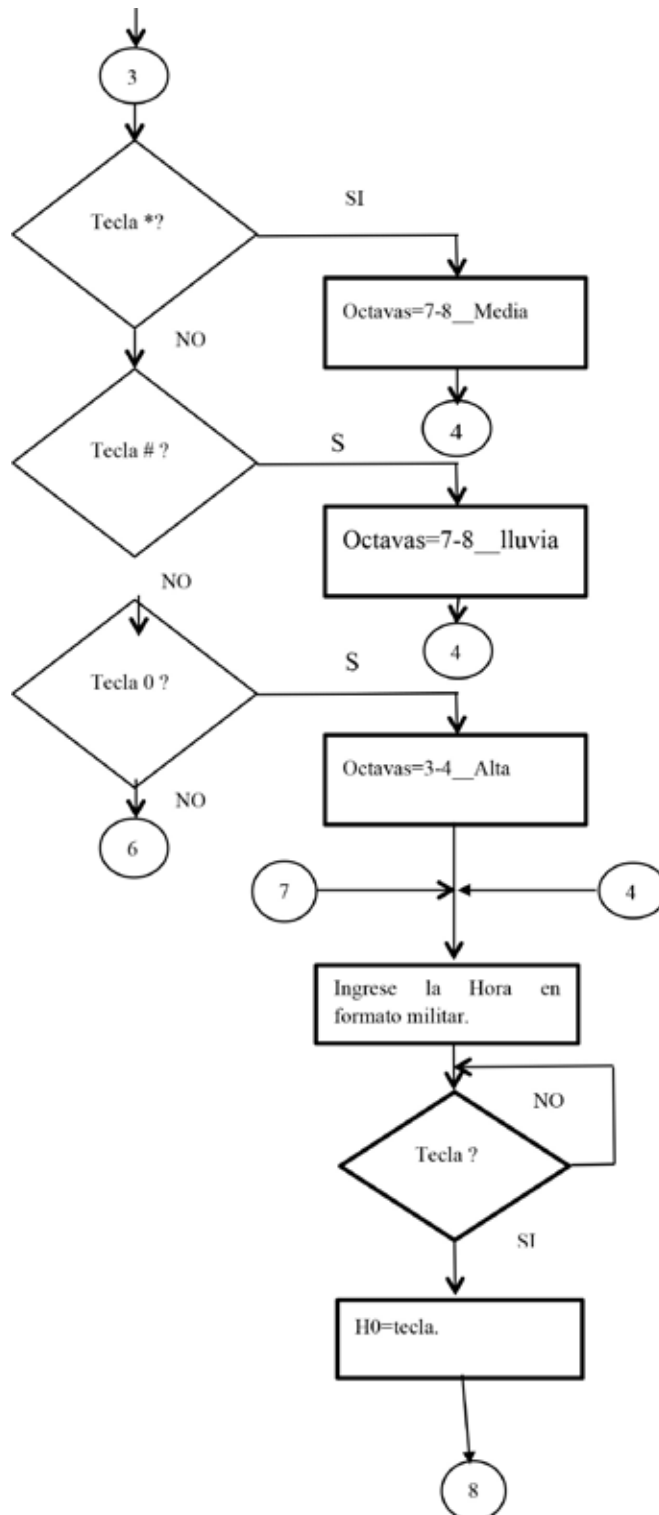
3.9.1 Diagrama de flujo del programa para la predicción del IUV en Riobamba

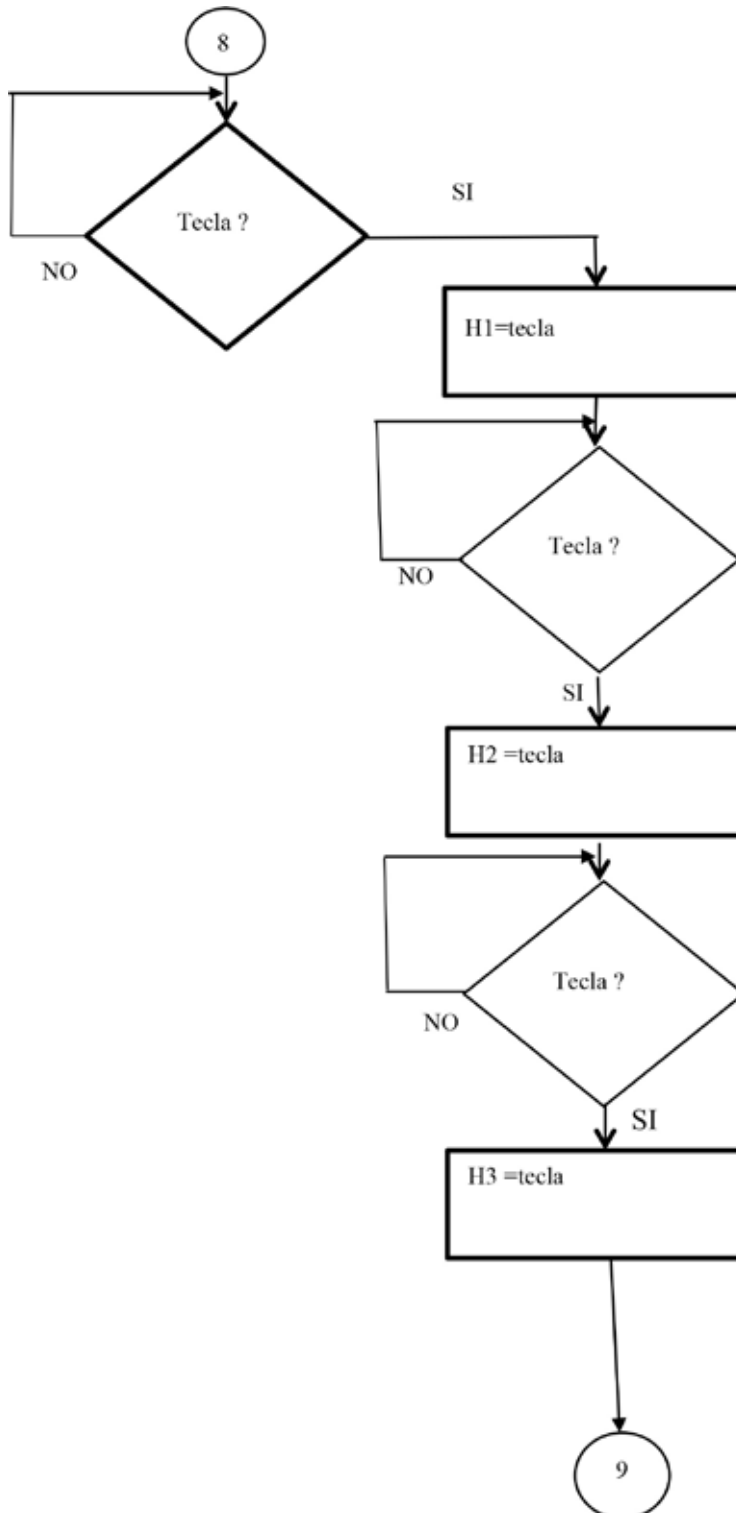
El diagrama de flujo del programa se muestra a continuación [30].

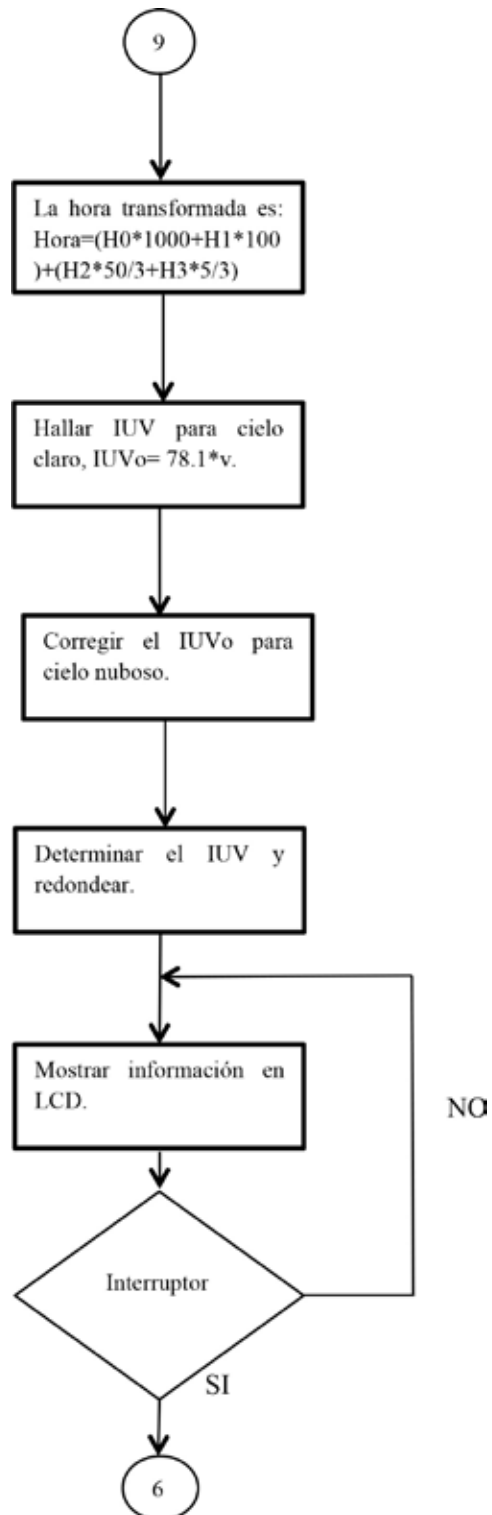












3.9.2 El programa de predicción del IUV para el Arduino Mega 2560

El programa para el Arduino Mega 2560 se desarrolla en función del diagrama de flujo de la sección anterior y es el siguiente:

```
// PROGRAMA DESARROLLADO PARA EL ARDUINO MEGA 2560 MEDIANTE EL CUAL SE PREDICE EL IUV EN RIOBAMBA.
```

```
// ESTE DISPOSITIVO REQUIERE DE DOS PARÁMETROS PARA PREDECIR EL IUV Y SON: LA NUBOSIDAD Y LA HORA EN LA QUE SE PRODUCIRÁ ESA NUBOSIDAD.
```

```
// EL VALOR DE LA NUBOSIDAD SE INGRESA MEDIANTE EL TECLADO Y EL VALOR DE LA HORA, EN FORMATO MILITAR, SE INGRESA TAMBIÉN POR EL MISMO TECLADO.
```

```
// EL INTERRUPTOR TIENE DOS FUNCIONES: LA UNA ES LA DE CALCULAR EL IUV CUANDO ESTÁ EN LA POSICIÓN 0 VOLTIOS Y LA OTRA ES PERMITIR EL INGRESO DE LA NUBOSIDAD Y HORA CUANDO ESTA EN LA POSICIÓN 5 VOLTIOS.
```

```
//EL DISPLAY MUESTRA EL RESULTADO DE LA PREDICCION DEL IUV Y LA HORA A LA CUAL SE PRODUCIRÁ ESE VALOR DE IUV.
```

```
#include <LiquidCrystal.h> // añade la librería LiquidCristal, que permite la comunicación con el LCD.
```

```
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2); // se definen e inicializan los pines de control (11, 12) y datos (2,3,4,5) que el LCD utilizará del Arduino.
```

```
#include <Keypad.h> //añade la librería keypad para habilitar el teclado conectado al Arduino.
```

```
const byte FILAS = 4; // define el número de filas del teclado: en este caso, cuatro filas.
```

```
const byte COLUMNAS = 3; // define el número de columnas del teclado: en este caso, tres columnas.
```

char keys[FILAS][COLUMNAS] = { // se crea una matriz con los caracteres del teclado, mapeo de las teclas según la distribución del teclado conectado al arduino

{'1','2','3'},

{'4','5','6'},

{'7','8','9'},

{'*','0','#'}

};

byte rowPins[FILAS] = {34,32,30,28}; //se indica a qué pines digitales del Arduino se conectan las filas del teclado.

byte colPins[COLUMNAS] = {26,24,22}; // indica a qué pines digitales del Arduino se conectan las columnas del teclado.

Keypad keypad = Keypad(makeKeymap(keys), rowPins, colPins, FILAS, COLUMNAS); //se crea un objeto de la librería keypad para usar sus funciones.

float v1; // v1, es el primer exponente del modelo matemático del voltaje generado por el sensor IUV-1.

float v2; // v2, es el segundo exponente del modelo matemático del voltaje generado por el sensor IUV-1.

float v; // v es el modelo matemático del voltaje generado por el sensor IUV-1.

float expo1, expo11; // expo1 es la ecuación del exponente 1 del modelo matemático del voltaje del sensor.

float expo2, expo22; // expo2 es la ecuación del exponente 2 del modelo matemático del voltaje del sensor.

int w; //w es la parte entera del IUV calculado.

int entw; //entw es la parte entera de la variable w que se divide por 100.

int residuo; //residuo es el residuo de la división de w para 100.

`int iuv; // iuv es el índice IUV redondeado.`

`float CMF; // CMF es el factor de corrección del IUVo a cielo claro, según el tipo de nubes.`

`float IUVo; //IUVo es el índice IUV para cielo claro.`

`float IUV; // IUV es el índice de radiación ultravioleta corregido según el tipo de nubes.`

`float eIUV; // eIUV guarda el IUV multiplicado por 100; se usa para convertir a entero el IUV.`

`int x; // es el valor de la hora.`

`float sensorValue=0;`

`float H0;`

`float H1;`

`float H2;`

`float H3;`

`float Hora;`

`void setup()`

`{`

`lcd.begin(16, 2); // indica al Arduino que el LCD tiene dieciséis columnas y dos filas.`

`lcd.println("PREDICCIÓN DEL "); // imprime en el LCD el mensaje "PREDICCIÓN DEL", EN LA FILA 0.`

`lcd.setCursor(0, 1); // posiciona el cursor del LCD en la columna 0 y fila 1.`

`lcd.print("IUV EN RIOBAMBA "); // se imprime el mensaje "IUV EN RIO-`

BAMBA” en el LCD en la fila 1 y columna 0..

delay(3000); // espera 3000 milisegundos para que se pueda leer el mensaje en el LCD.

}

void loop()

{

lcd.clear();

// Espera a que el usuario ingrese la nubosidad mediante una tecla.

//-----

char key;

do { *lcd.setCursor*(0, 0); *lcd.println*(“ELIJA NUBOSIDAD”); *key = keypad.getKey*(); } while (*key* == NO_KEY);

if(*key* != NO_KEY)

{ // si el usuario presionó una tecla, se ejecuta el algoritmo que esta entre {}.

lcd.setCursor(0, 1); // el curso en la fila 1 columna 0

lcd.println(“ ”);

lcd.setCursor(0, 0); // el cursor del LCD en la posición fila 0 columna 0.

lcd.println(“NUBOSIDAD ELEGIDA”); //imprime en el LCD el mensaje “NUBOSIDAD ELEGIDA”.

lcd.setCursor(0, 1);

// se imprime un mensaje en el LCD con la nubosidad elegida y se espera 3000 mseg para que sea leída por el usuario.

```

        if (key== '1') { CMF= 1;      lcd.println("Octava 0-2__A,M,B"); de-
lay(3000);}

        if (key== '9') { CMF= 0.9;    lcd.println(" Octavas =7-8__A ");de-
lay(3000);}

        if (key== '8') { CMF= 0.8;    lcd.println(" Octavas =3-4__B ");de-
lay(3000);}

        if (key== '5') { CMF= 0.5;    lcd.println(" Octavas=5-6__B ");de-
lay(3000);}

        if (key== '4') { CMF= 0.4;    lcd.println("Octavas=7-8__NI");de-
lay(3000);}

        if (key== '2') { CMF= 0.2;    lcd.println("Octavas =7-8__B ");de-
lay(3000); }

        if (key== '*' ) { CMF= 0.5;   lcd.println("Octavas =7-8__M ");de-
lay(3000); }

        if (key== '#' ) { CMF= 0.2;   lcd.println("Octavas =7-8__lluvia");de-
lay(3000);}

        if (key== '7' ) { CMF= 1;     lcd.println("Octavas =7-8__M "); de-
lay(3000); }

        if (key== '6' ) { CMF= 0.8;   lcd.println("Octavas =3-4__M "); de-
lay(3000); }

        if (key== '3' ) { CMF= 1;     lcd.println("Octavas=5-6__A");delay(3000);
}

        if (key== '0' ) { CMF= 1;     lcd.println("Octavas=3-4__A");delay(3000);
}

}

//-----

```

Cursor(0, 0); // se ubica el cursor del LCD en la posición 0, 0 fila 0 columna 0.

lcd.println(" "); // se imprimen espacios en blanco en la posición fila 1 columna 0 para borrar el contenido.

lcd.setCursor(0, 1); // se ubica el cursor del LCD en la posición 0, 0 fila 1 columna 0.

lcd.println(" "); // se imprimen espacios en blanco en la posición fila 1 columna 0 para borrar el contenido.

// Imprime el mensaje "INGRESE LA HORA ", en la fila 0 y columna 0.

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.println(" ");

lcd.setCursor(0, 0);

// Espera a que el usuario ingrese la hora mediante una tecla.

//-----

char TECLA ;

do

{ *lcd.setCursor(0, 0); lcd.println("INGRESE LA HORA");* TECLA = keypad.getKey();}

while (TECLA == NO_KEY);

 if (TECLA != NO_KEY)

 {

 H0=TECLA;

 }

while (TECLA == NO_KEY);

 if (TECLA != NO_KEY)

 {

```

    H1=TECLA;
}
while (TECLA == NO_KEY);
    if (TECLA != NO_KEY)
    {
        H2=TECLA;
    }

while (TECLA == NO_KEY);
    if (TECLA != NO_KEY)
    {
        H3=TECLA;
    }
Hora=(1000*H0+100*H1)+(10*H2*5/3+H1*5/3);
x= Hora/100;

lcd.setCursor(0, 1); //PONE EL CURSOR EN LA POSICIÓN FILA 1 COLUM-
NA 0

    lcd.println("        ");

    lcd.setCursor(0, 0); // se pone el cursor del LCD en la posición fila 0
columna 0.

    lcd.println("HORA INGRESADA "); // se imprime en el LCD el mensaje
"HORA ELEGIDA ES".

    lcd.setCursor(0, 1);

    // imprime un mensaje en el LCD con la nubosidad elegida y se espera
3000 mseg para que sea leída por el usuario.

```



```
//-----  
// Cálculo del modelo matemático  
//-----  
    expo1 = ((x-12.46)/2.90); // expo1 es el exponente del voltaje. x es el tiempo.  
    expo11= - expo1*expo1;  
    expo2 = (x-9.84)/2.17; // expo2 es el segundo exponente del voltaje. x es el tiempo.  
    expo22= - expo2*expo2;  
    v1 = (0.17*pow(2.7183, expo11));  
    v2 = (0.09*pow(2.7183, expo22));  
    v= v1 + v2; // v es el voltaje del sensor IUV-1 en función del tiempo.  
//-----  
// Transformación del voltaje al IUVo. IUVo es el IUV a cielo despejado  
//-----  
IUVo = 78,1*v;  
//-----  
// Corrección del IUVo mediante CMF  
//-----  
IUV = IUVo * CMF;  
//-----  
// Redondeo del IUV al entero superior más próximo, según el estándar el IUV debe ser entero.
```

```
//-----  
  
    eIUV = IUV*100; //multiplica por 100 para luego eliminar los 2 primeros  
    decimales del valor IUV calculado.  
  
    w= (int) eIUV; // toma la parte entera de eIUV.  
  
    entw= w/100; // recupera solo la parte entera del IUV calculado.  
  
    residuo = w % 100; // encuentra el residuo del IUV calculado.  
  
    if (residuo >= 45)  
    {  
        iuv=entw+1;} // si el primer decimal del IUV es >=5 redondea al valor  
    superior.  
  
        else  
        {  
            iuv = entw;  
        }  
  
    // Muestra el valor del IUV pronosticado y la hora a la que se produce ese valor  
    de IUV  
  
    //-----  
  
    do {  
  
        sensorValue=analogRead(A8); // lee la posición del interruptor.  
  
        lcd.clear();  
  
        lcd.print(" PRONÓSTICO");  
  
        lcd.setCursor(0, 1);  
  
        if (x==6 || x==18){lcd.print("IUV Max=" + String(iuv)+ "H=6y" + String(x));}  
        // a las 6 y 18 horas el IUV es 0.  
  
        else {
```

```
lcd.print("IUV Max=" + String(iuv) + "Hora" + String(x));  
delay(1500);  
lcd.print("IUV Max=" + String(iuv) + "Hora" + String(x));  
delay(3000); } while (sensorValue <=4.5); // Mientras el interruptor este  
puesto a cero voltios, muestra el valor del IUV pronosticado y la hora. Cuando  
el interruptor sea puesto a 5 voltios, el dispositivo está listo para realizar otro  
pronóstico.  
}
```

3.10 CONCLUSIONES

- La velocidad de procesamiento y cantidad de memoria que requiere el programa desarrollado para el Arduino Mega 2560 (16 MHz y 256 k) son suficientes para ejecutar el programa que calcula los modelos matemáticos de predicción del IUV y voltaje por lo que es factible tener un dispositivo portátil y pequeño.
- Los Arduinos facilitan el desarrollo de proyectos electrónicos, tienen todo el sistema electrónico integrado en un solo circuito impreso de pequeñas dimensiones.
- La programación de un Arduino no es complicada y además existen miles de programas, foros de ayuda y discusión que están gratuitamente disponibles en internet.
- Como se utiliza un solo teclado para introducir al Arduino los valores de la nubosidad y la hora, el dispositivo cabe en la palma de una mano.

CAPÍTULO IV. VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO ELECTRÓNICO

4.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo presenta la validación del prototipo del sistema electrónico de predicción del IUV para Riobamba.

La validación se realiza evaluando la respuesta del Arduino Mega 2560 a los siguientes indicadores:

- La exactitud de los resultados del cálculo del modelo matemático del voltaje de las OEM a cielo nublado
- La interfaz de usuario

El error en la predicción del IUV se determina utilizando las técnicas de medición de errores de predicción.

4.2 VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS CREADOS POR EL SISTEMA ELECTRÓNICO A CIELO NUBOSO

La prueba consiste en comparar los resultados que generan Matlab y el Arduino Mega 2560 al evaluar la ecuación:

$$v(t) = (0,17 * e^{-\left(\left(\frac{t-12,46}{2,90}\right)^2\right)} + 0,09 * e^{-\left(\left(\frac{t-9,84}{2,17}\right)^2\right)}) * CMF$$

Se seleccionan dos valores de tiempo, 9:00 ($t = 0900$) por estar en la mitad de la mañana y el otro a la hora del medio día solar que es a las 12:00 ($t = 1200$). Se calcula la ecuación también para todos los valores posibles de CMF.

El Arduino Mega 2560 según sus características tecnológicas responde a los cálculos matemáticos con una exactitud de dos cifras decimales. Los resultados del cálculo de la ecuación se muestran en la tabla 4.1. Del análisis de los valores de esta tabla se puede concluir que el Arduino genera los mismos resultados que Matlab para dos cifras decimales; por lo tanto, el cálculo de la ecuación que realiza el Arduino Mega 2560 es exacto para dos decimales.

Tabla 4.1. Resultados de los cálculos del voltaje

$v(t) = (0,17 * e^{-\left(\left(\frac{t-12,46}{2,90}\right)^2\right)} + 0,09 * e^{-\left(\left(\frac{t-9,84}{2,17}\right)^2\right)}) * CMF$					
CMF	Arduino MEGA 2560	Matlab	Arduino MEGA 2560	Matlab	Exactitud para 2 cifras significativas
	t = 0900	t = 9	t = 1200	t = 12	100 %
1	0,01	0,0050	0,20	0,1999	100 %
0,9	0,00	0,0045	0,18	0,1712	100 %
0,8	0,00	0,0040	0,16	0,1575	100 %
0,5	0,00	0,0025	0,10	0,0985	100 %
0,4	0,00	0,0020	0,08	0,0788	100 %
0,2	0,00	0,0010	0,04	0,0394	100 %

4.3 VALIDACIÓN DEL SOFTWARE DEL SISTEMA ELECTRÓNICO

La validación del *software* se realiza a nivel de usuario final (lo que se muestra en el *display*); es decir, se valida la interfaz de usuario. Para esto, se corre la aplicación desarrollada para el Arduino Mega 2560. Las tablas 4.2 y 4.3 muestran los resultados del sistema a cada tecla, cada tecla, tiene información de la nubosidad y la hora.

Tabla. 4.2. Resultado del ingreso de la nubosidad

Mensaje al usuario	Tecla activada	Respuesta del <i>software</i> al mensaje del usuario	Respuesta del sistema electrónico
Elija Nubosidad	Ninguna	Espera por una tecla	La programada.
Elija Nubosidad	9	Octavas = 7-8 __A	La programada.
Elija Nubosidad	8	Octavas = 3-4- __B	La programada.
Elija Nubosidad	7	Octavas = 3-4 __N	La programada.
Elija Nubosidad	9	Octavas = 7-8 __A	La programada.
Elija Nubosidad	5	Octavas = 5-6 __B	La programada.
Elija Nubosidad	4	Octavas = 7-8 __N	La programada.
Elija Nubosidad	3	Octavas = 5-6 __A	La programada.
Elija Nubosidad	2	Octavas = 7-8 __B	La programada.
Elija Nubosidad	1	Octavas = 0-2 __A, M, B	La programada.
Elija Nubosidad	0	Octavas = 3-4 __A	La programada.
Elija Nubosidad	*	Octavas = 7-8 __N	La programada.
Elija Nubosidad	#	Octavas = 7-8 __lluvia	La programada.

Tabla. 4.3. Resultado del ingreso de la hora

Mensaje al usuario	Hora Formato militar	Respuesta del <i>software</i> al mensaje del usuario	Respuesta del sistema electrónico
Ingrese la Hora	Ninguna	Espera por una tecla	La programada.
Ingrese la Hora	0900	0900	La programada.
Ingrese la Hora	1800	1800	La programada.
Ingrese la Hora	0700	0700	La programada.
Ingrese la Hora	0600	0600	La programada.
Ingrese la Hora	0500	0500	La programada.
Ingrese la Hora	0400	0400	La programada.
Ingrese la Hora	0300	0300	La programada.
Ingrese la Hora	0200	0200	La programada.
Ingrese la Hora	0100	0100	La programada.
Ingrese la Hora	0830	0830	La programada.
Ingrese la Hora	0945	0945	La programada.
Ingrese la Hora	1155	1155	La programada.

4.4 EL ERROR EN LA PREDICCIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DEL IUV EN RIOBAMBA

Como se indicó en el capítulo dos, el valor pronosticado es el valor máximo de IUV para el día del pronóstico, es decir, es un solo valor.

Se evalúan los errores del pronóstico mediante las siguientes técnicas:

- La desviación absoluta de la media (DAM), promedio del error absoluto.
- El error medio cuadrado (EMC), promedio del cuadrado del error absoluto.
- El porcentaje de error medio absoluto (PEMA), promedio del error relativo.
- El porcentaje medio de error (PME).

Las ecuaciones para cada técnica son:

$$DAM = (\sum_{i=1}^n |IUVmi - IUVpi|)/n \quad 4.1$$

$$EMC = (\sum_{i=1}^n (IUVmi - IUVpi)^2)/n \quad 4.2$$

$$PEMA = (\sum_{i=1}^n (|IUVmi - IUVpi|/IUVmi))/n \quad 4.3$$

$$PME = (\sum_{i=1}^n ((IUVmi - IUVpi)/IUVmi))/n \quad 4.4$$

Para facilitar los cálculos, de los errores en los pronósticos, con las ecuaciones 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4 se tabulan los datos como muestra la tabla 4.3, donde, IUV_m es el valor del IUV medido, IUV_p es el valor del IUV pronosticado, E_a es el error absoluto ($|IUV_m - IUV_p|$), E_{2a} es el error absoluto al cuadrado, E_r es el error relativo y $E = (IUV_m - IUV_p) / IUV_m$.

Tabla 4.3. Valores para calcular los errores de pronóstico

n	IUV_m	IUV_p	E_a	E2a	E_r = E_a/IUVm	E
1	12	12	0	0	0,000	0,000
2	15	16	1	1	0,067	-0,067
3	12	14	2	4	0,167	-0,167
4	11	14	3	9	0,273	-0,273
5	11	11	0	0	0,000	0,000
6	12	11	1	1	0,083	0,083
7	14	14	0	0	0,000	0,000
8	12	12	0	0	0,000	0,000
9	12	12	0	0	0,000	0,000
10	11	11	0	0	0,000	0,000
11	12	12	0	0	0,000	0,000
12	16	16	0	0	0,000	0,000
13	15	16	1	1	0,067	-0,067
14	15	17	2	4	0,133	-0,133
15	12	10	2	4	0,167	0,167
16	15	15	0	0	0,000	0,000
17	12	11	1	1	0,083	0,083
18	12	11	1	1	0,083	0,083
19	11	11	0	0	0,000	0,000
20	12	10	2	4	0,167	0,167
21	16	17	1	1	0,063	-0,063
22	12	13	1	1	0,083	-0,083
23	1	1	0	0	0,000	0,000
24	16	16	0	0	0,000	0,000
25	10	10	0	0	0,000	0,000
26	14	14	0	0	0,000	0,000
27	15	14	1	1	0,067	0,067
28	14	14	0	0	0,000	0,000
29	11	12	1	1	0,091	-0,091
30	13	13	0	0	0,000	0,000
31	9	9	0	0	0,000	0,000
32	15	15	0	0	0,000	0,000
33	13	12	1	1	0,077	0,077
34	14	15	1	1	0,071	-0,071

35	10	11	1	1	0,100	−0,100
36	10	11	1	1	0,100	−0,100
37	14	15	1	1	0,071	−0,071
38	15	15	0	0	0,000	0,000
39	12	12	0	0	0,000	0,000
40	13	13	0	0	0,000	0,000
41	12	12	0	0	0,000	0,000
42	12	12	0	0	0,000	0,000
43	1	0	1	1	1,000	1,000
44	13	13	0	0	0,000	0,000
45	14	14	0	0	0,000	0,000
46	10	10	0	0	0,000	0,000
47	13	12	1	1	0,077	0,077
48	7	7	0	0	0,000	0,000
49	14	14	0	0	0,000	0,000
50	12	12	0	0	0,000	0,000
51	16	16	0	0	0,000	0,000
52	15	15	0	0	0,000	0,000
53	15	14	1	1	0,067	0,067
54	12	12	0	0	0,000	0,000
55	12	13	1	1	0,083	−0,083
56	14	12	2	4	0,143	0,143
57	13	12	1	1	0,077	0,077
58	1	1	0	0	0,000	0,000
59	16	16	0	0	0,000	0,000
60	15	16	1	1	0,067	−0,067

El resultado de los cálculos de los errores de los pronósticos mediante cada una de las ecuaciones (4.1 a 4.4) los muestra la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Resultado de los cálculos de los errores de los pronósticos

DAM, promedio del error absoluto	0,550
EMC, promedio del cuadrado del error absoluto	0,817
PEMA, promedio del error relativo	0,059
PME, porcentaje medio de error	0,011

El error relativo promedio en porcentaje refleja de mejor manera el error que se está cometiendo y es de 5,9 %.

4.5 CONCLUSIONES

- El procesador del Arduino Mega 2560 calcula el modelo matemático de predicción del IUV con la misma precisión que Matlab para dos cifras significativas.
- Se puede utilizar con absoluta seguridad un Arduino Mega 2560 en lugar de un computador; de esta manera, el dispositivo es efectivamente portátil y pequeño.
- El error del sistema electrónico está más bien en el error que se pueda cometer al predecir el estado de las nubes.
- Todos los errores calculados, si son redondeados al entero más próximo, indican que el pronóstico puede tener un error máximo de una unidad de IUV.
- Es la primera vez que en Riobamba se construye un dispositivo de este tipo.

CAPÍTULO V. DISEÑO DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO INTEGRADO

5.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo presenta el procedimiento que se usó en el diseño, implementación y construcción del circuito integrado que predice el IUV de Riobamba. Se utiliza fundamentalmente la aplicación Quartus II que es un programa informático del tipo, *electronic design automation* (EDA) desarrollado por el fabricante Altera para sus productos. En 2018, esta empresa fue absorbida por Intel que es el mayor fabricante de circuitos integrados del mundo.

La versión de Quartus II que se utilizó para desarrollar este proyecto fue la versión web libre junto con el lenguaje de descripción de hardware VHDL que es un estándar del IEEE.

5.2 LENGUAJES DE DESCRIPCIÓN DE *HARDWARE*

En la década de los ochenta, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos propuso a la comunidad científica la creación de un lenguaje que permita sintetizar un circuito integrado a partir de un programa que describa lo que el circuito debe hacer. Este es el origen de VHDL, cuya sigla significa lenguaje de descripción de *hardware* para circuitos integrados de muy alta velocidad.

La aparición de los lenguajes de descripción de *hardware* (LDH) marca la era de una nueva tecnología, pues el diseñador de sistemas digitales tiene, con un LDH, dos métodos para diseñar y sintetizar circuitos digitales.

Un método consiste en desarrollar un programa con algún LDH que describa cómo debe funcionar el circuito y, una vez que se ha simulado para comprobar que funciona adecuadamente, este programa (en realidad todos los archivos) se

envían a algún fabricante de circuitos integrados, una fundidora, quien construye el circuito en una sola oblea de silicio. Por supuesto, el circuito integrado le pertenece al diseñador y no al fabricante. Este es el método con el cual se construyen, en la actualidad, circuitos integrados (CI) a la medida. A esta técnica se denomina ASIC por sus siglas en inglés, que significa circuito integrado para aplicaciones específicas, un CI hecho a la medida.

El costo de fabricación de un ASIC es elevado cuando el número de CI es pequeño. Sin embargo, si el número es grande, el costo disminuye significativamente. Este es el método preferido por los fabricantes de dispositivos electrónicos como celulares, microcontroladores, microprocesadores, etc.

El otro método es diferente. En lugar de enviar el programa al fabricante de circuitos integrados, el diseñador compra un CI genérico programable y lo programa. Un CI de este tipo es, por ejemplo, un *field programmable gate array* (FPGA), arreglo de compuertas programables en campo. Este circuito se puede programar y reprogramar las veces que sean necesarias. En este caso, el CI es un FPGA, cuya tecnología le pertenece al fabricante, pero el programa es propiedad del diseñador. Al final el FPGA programable, no la tecnología, es propiedad del que lo adquirió. La ventaja de este método es el costo, que es muy bajo, comparado con el costo de un ASIC.

5.3 DISEÑO DEL CIRCUITO INTEGRADO QUE PRONOSTICA EL IUV EN RIOBAMBA

El fundamento para diseñar el CI que predice el IUV en Riobamba está en las ecuaciones 2.3 y 2.7. En esencia, el CI debe ser capaz de calcular las ecuaciones para lo que requiere información de la hora y del factor de corrección por nubosidad. Es necesario recalcar que las ecuaciones fueron ya validadas por un Arduino y un computador portátil.

La hora y el factor de corrección por nubosidad deben ser ingresados por un mismo teclado. Primero la hora, luego se presiona el interruptor sw y a continuación se introduce el factor de corrección por nubosidad a través del mismo teclado. El resultado, es decir, el IUV pronosticado, debe ser mostrado en dos *displays* de siete segmentos.

El circuito debe tener capacidad de computación, porque recibe en sus entradas información. Esta es procesada por un algoritmo y, en respuesta, envía a sus salidas otro tipo de información, el IUV.

La información que debe recibir el circuito en sus entradas es la hora y el valor del factor de corrección por nubosidad (CFM) como ya se indicó.

El algoritmo, con la información de entrada, debe calcular el pronóstico del IUV mediante las ecuaciones 2.3 y 2.7.

El resultado del procesamiento del algoritmo debe ser mostrado a través de dos vectores que, a la vez, actuarán sobre dos displays de siete segmentos cada uno. Los dos displays mostrarán el valor del IUV pronosticado en base 10.

El alfabeto A del circuito integrado está formado por los símbolos 0 y 1, $A=\{0,1\}$. El alfabeto universal U, está constituido por todas las combinaciones posibles de sus dos símbolos 0 y 1, $U=\{0,1, 00, 01, 10, 11, 000, \dots\}$. Una frase, cadena o palabra está conformada por un elemento del alfabeto universal U. El lenguaje está formado por todas las cadenas que, en decimal, representan al conjunto de dígitos que van desde el cero y hasta el 20 para las salidas y desde 0600 hasta 1800 para las entradas, además de 2, 4, 5, 8 y 9, que también son entradas.

La figura 5.1 muestra la abstracción del circuito integrado. Como se ve, consta de siete líneas o señales de entrada, denominadas CFM en conjunto, para conectar el teclado. Una entrada adicional para la señal de *reset* y otra para el conmutador denominado sw.

Las salidas están formadas por catorce señales que activan dos displays de siete segmentos cada uno. Los *displays* deben ser habilitados externamente, pues el circuito integrado no los habilita automáticamente.

La figura 5.2 muestra una abstracción más amplia y donde se puede ver el CI más el teclado y displays.

Figura. 5.1. Abstracción del CI

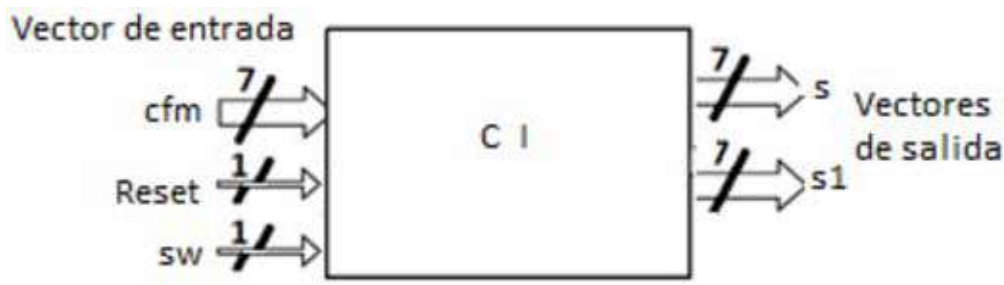
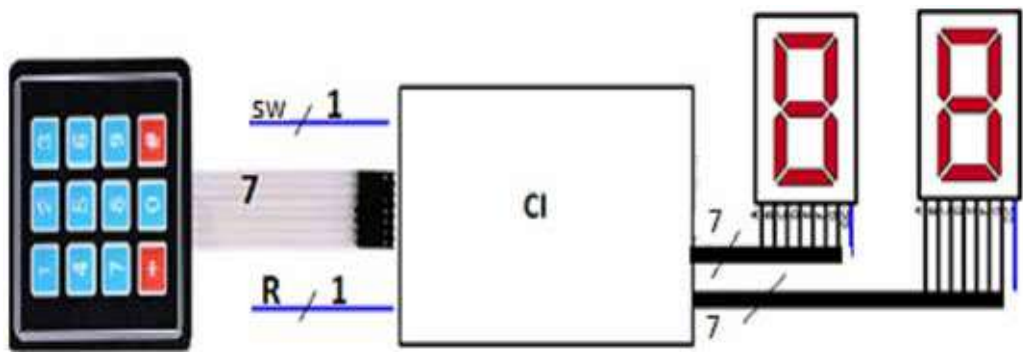


Figura. 5.2. CI con teclado y display



5.4 DESARROLLO DEL PROGRAMA EN VHDL

Un programa desarrollado en VHDL puede tener las siguientes unidades de diseño: *entity* (entidad), *architecture* (arquitectura), *package* (paquete) y *component* (componente). Sin embargo, todo programa en VHDL debe tener por lo menos dos de las cinco unidades de diseño, la entidad y la arquitectura. Para el caso de estudio, estas son suficientes.

En la abstracción de la figura 5.1, se ve con claridad que la entidad del circuito integrado está formada por veintitrés puertos (señales), nueve puertos de

entrada y catorce puertos de salida. Cada señal del puerto debe ser declarada en la entidad con su tipo y modo.

La arquitectura, que es la unidad de diseño que indica la función que debe realizar el circuito, para este caso, debe tener un *process*, ya que se ejecutará cada vez que alguna de las entradas del CI cambie. Por lo tanto, la lista sensible, del *process*, son los puertos de entrada.

El teclado debe ser numérico de doce teclas que esté formado por siete señales. De esas, cuatro son las filas y tres las columnas, por lo que se arma una matriz de doce elementos: uno para cada número, del cero al nueve, y dos símbolos, el * y el #.

La señal denominada CFM es un vector de entrada de siete líneas que recibe la información proporcionada por el teclado numérico de doce teclas. Esta información es codificada como muestra la tabla 5.1. No se puede utilizar otra codificación.

Tabla 5.1. Codificación obligatoria de las teclas del teclado

FILA N.º				COLUMNA N.º			TECLA
7	6	5	4	3	2	1	VALOR
1	0	0	0	1	0	0	1
0	1	0	0	1	0	0	4
0	0	1	0	1	0	0	7
0	0	0	1	1	0	0	*
1	0	0	0	0	1	0	2
0	1	0	0	0	1	0	5
0	0	1	0	0	1	0	8
0	0	0	1	0	1	0	0
1	0	0	0	0	0	1	3
0	1	0	0	0	0	1	6
0	0	1	0	0	0	1	9
0	0	0	1	0	0	1	#

La tabla 5.2 muestra la codificación que se utilizó para las líneas de salida al *display* de siete segmentos.

Tabla. 5.2. Codificación de las líneas del *display*

NÚMERO	CÓDIGO
0	0110000
1	1101101
2	1101101
3	1111001
4	0110011
5	1011011
6	1011111
7	1110000
8	1111111
9	1111011

A continuación, se muestra parte del programa desarrollado en VHDL para el circuito integrado propuesto. Los dos guiones medios (--) al inicio de una línea en el programa representan un comentario, estas líneas son ignoradas por el compilador.

```
-- ESTE PROGRAMA FUE DESARRROLLADO MEDIANTE
-- LA HERRAMIENTA EDA QUARTUS II DE INTEL-ALTERA
-- ESTE PROGRAMA FUE SINTETIZADO UTILIZANDO
-- EL ENTRENADOR DE2 DE ALTERA (v. 13 de Quartus II)
-- QUE CONTIENE EL FPGA CICLON II
-- DECLARACIÓN DE LIBRERÍAS
```



```
library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;
use ieee.numeric_std.all;
use ieee.std_logic_unsigned;
--DECLARACIÓN DE ENTIDAD
entity invento is
port(
    cfm: in BIT_VECTOR(7 downto 1);
    reset, sw: in BIT ;
    E1, E2: OUT BIT;
    s,S1:out std_logic_vector(7 DOWNT0 1)
);
end invento;
--DECLARACIÓN DE ARQUITECTURA
architecture ainvento of invento is
E1<='1'; E2<='1';
begin
    process(cfm, reset,sw) is
        variable n, n1, n2, n3, n4, k,m: integer RANGE 0
TO 20;
        variable t, t1,x : integer RANGE 0 TO 20;
        variable x1,a ,b,c,d,v,w,ww,vv,e, iuv, iuve, iuve1:
integer RANGE 0 TO 20;
    begin
```

```
if (reset = '1') then
    s<= "0000000";
else
    case cfm is
        when ("1000100")=>
            n:= 1;
        when ("0100100")=>
            n:= 4;
            when "0010100" =>
                n:= 7;
                when "0001100" =>
                    n:= null;
                    when "1000010" =>
                        n:= 2;
                        when "0100010" =>
                            n:= 5;
                            when "0010010" =>
                                n:= 8;
                                when "0001010" =>
                                    n:= 0;
                                    when "1000001" =>
                                        n:= 3;
                                        when "0100001" =>
                                            n:= 6;
```

```
when "0010001" =>
    n:= 9;
when "0001001" =>
    n:= null;
when others =>
    n:= null;

end case;

end if;

if (k=1) then
    n1:= n;

elsif (k=2) then
    n2:=n;

elsif (k=3) then
    n3:= n;

else
    n4:=n;

end if;

x:= n3*10+n4;
x1:= x*5/3;
t:= n1* 1000+ n2*100 + x1;
t1:= t / 100;
a:= 623/50;
b:= 29/10;
c:= 246/25;
```

```

d:=217/100;

w:=(t1-a)/b;

v:=(t1-c)/d;

ww:=w**2;

vv:=v**2;

e:= 68/25;

iuv:= 17/100*e**(-ww) + 9/100* e**(-v);

iuve:= integer(iuv);

if (sw ='1') then
  case cfm is
    when ("1000100")=>
      n:= 1;
    when "1000010" =>
      n:= 1/5;
    when "0100010" =>
      n:= 1/2;
    when "0010010" =>
      n:= 4/5;
    when "0100100" =>
      n:= 2/5;
    when "0010100" =>
      n:= 1;
    when "0001100" =>
      n:= 1/2;

```

```
when "0010001" =>
    n:= 9/10;
when "0001001" =>
    n:= 1/5;
when "0100001" =>
    n:= 8/10;
when "0001010" =>
    n:= 1;
when others =>
    n:= null;
end case;

else
    null;
end if;

m:=n;
iuvel:= iuve*m;

case iuvel is
    when 0 =>
        s1<="1111110";
        s<="1111110";
    when 1 =>
        s1<="1111110";
        s<="0110000";
    when 2 =>
```

```
        sl<="1111110";
        s<="1101101";
when 3 =>
        sl<="1111110";
        s<="1111001";
when 4 =>
        sl<="1111110";
        s<="0110011";
when 5 =>
        sl<="1111110";
        s<="1011011";
when 6 =>
        sl<="1111110";
        s<="1011111";
when 7 =>
        sl<="1111110";
        s<="1110000";
when 8 =>
        sl<="1111110";
        s<="1111110";
when 9 =>
        sl<="1111110";
        s<="1111011";
when 10 =>
```

```
s<="0110000";  
s1<="1111110";  
when 11 =>  
    s1<="0110000";  
    s<="0110000";  
when 12 =>  
    s1<="0110000";  
    s<="1101101";  
when 13 =>  
    s1<="0110000";  
    s<="1101101";  
when 14 =>  
    s1<="0110000";  
    s<="0110011";  
when 15 =>  
    s1<="0110000";  
    s<="1011011";  
when 16 =>  
    s1<="0110000";  
    s<="1011111";  
when 17 =>  
    s1<="0110000";  
    s<="1110000";  
when 18 =>
```

```
        s1<="0110000";  
        s<="1111110";  
    when 19 =>  
        s1<="0110000";  
        s<="1111011";  
    when 20 =>  
        s1<="1101101";  
        s<="1111110";  
    when others => s<="0011111";  
    end case;  
end process;  
end aevento;
```

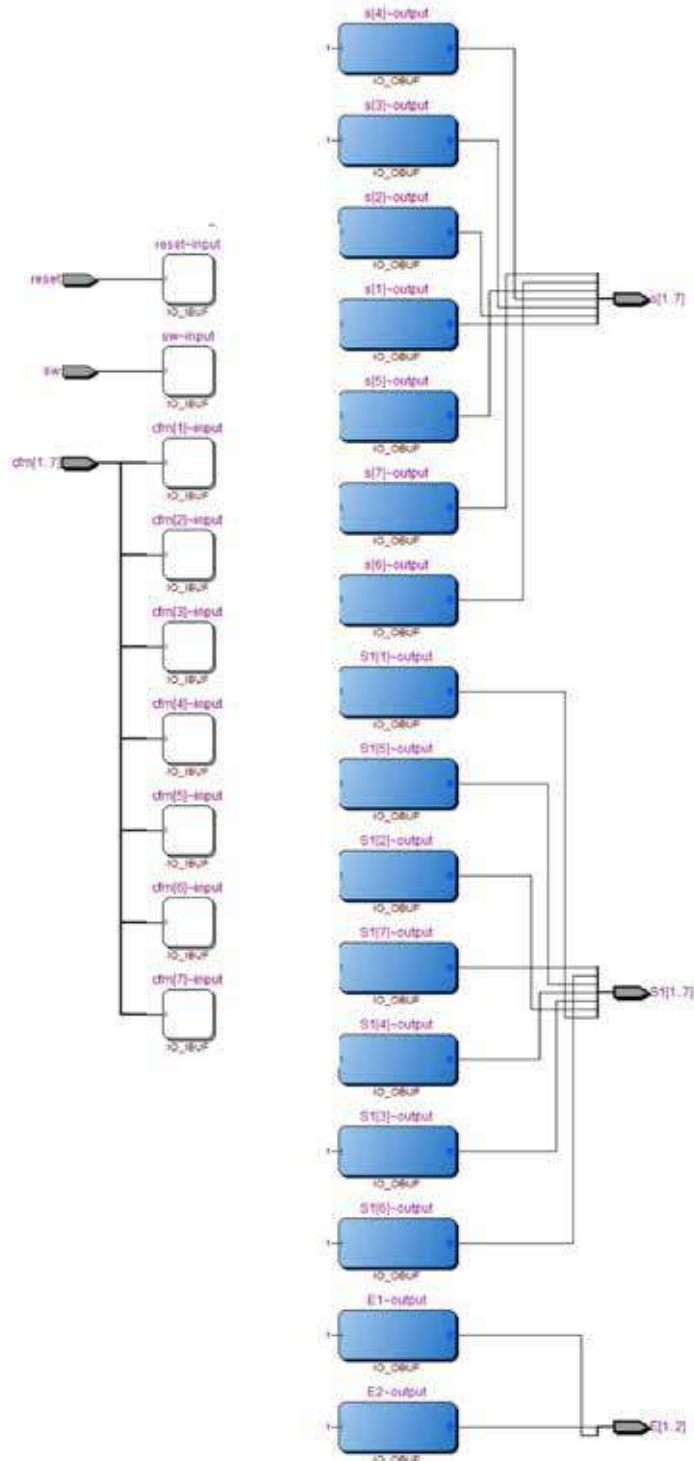
5.5 DIAGRAMA DEL CIRCUITO INTEGRADO CREADO

El programa anterior fue desarrollado, probado, simulado y sintetizado mediante el entrenador DE2 de Altera que posee un FPGA denominado Ciclon II. Una vez terminados los procesos de compilación, simulación y síntesis, el siguiente paso es la construcción del circuito sobre una oblea de silicio.

Lógicamente este circuito integrado pertenece a los denominados circuitos integrados para una aplicación específica ASIC, por sus siglas en inglés.

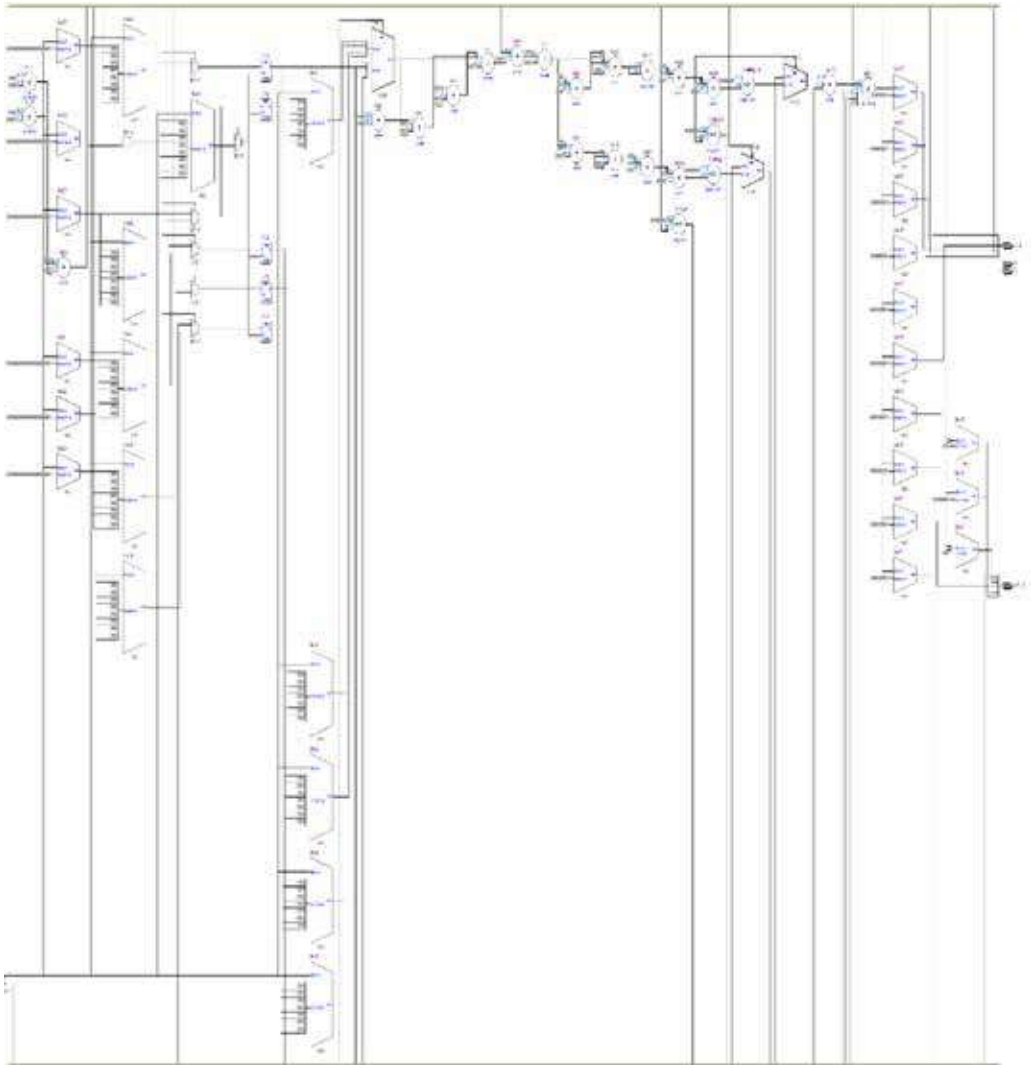
La figura 5.3 muestra el *technologic map* del circuito [30].

Figura. 5.3. El *technologic map* del circuito



El RTL de un circuito está conformado por los elementos digitales como puertas lógicas, multiplexores, decodificadores, registros, contadores, *latch*, *flip-flops*, etc. que sean necesarios. El RTL de este circuito integrado se muestra en la figura 5.4 [30].

Figura.5.4. El RTL del circuito



Finalmente, el aspecto físico externo que se espera del circuito integrado una vez que sea construido sobre una oblea de silicio se muestra en la figura 5.5. Lógicamente este proceso es realizado en una fundidora o más comúnmente conocida como fábrica de circuitos integrados. Una fábrica de este tipo es costosa, puede tener un valor de USD 50 millones. Por eso bastante complicado que un país sin recursos económicos posea una fábrica de este tipo.

Figura.5.4. El RTL del circuito



5.6 CONCLUSIONES

- Se logró diseñar el circuito integrado y su funcionalidad se probó con el entrenador DE2 de Altera. Se comprobó que el programa desarrollado cumple con los objetivos que se propusieron.
- Se utilizó el lenguaje de descripción de hardware VHDL para el desarrollo del programa del circuito integrado.
- La función más importante del circuito integrado es calcular el modelo matemático del IUV de Riobamba.

- Los resultados del cálculo del modelo matemático para dos cifras significativas, que son suficientes, son exactos.

CAPÍTULO VI. UBICACIÓN DE LA RED DE SENSORES EN RIOBAMBA

6.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo presenta la ubicación geográfica de las estaciones de medición del IUV en Riobamba. Son tres estaciones de IUV, disponibles, que son ubicadas en tres sitios estratégicos de la ciudad.

6.2 CRITERIOS PARA LA UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESTACIONES EN LA CIUDAD

Para la ubicación geográfica de las estaciones de medición del IUV en Riobamba hay que considerar que solo se dispone de tres estaciones de medición, las cuales deben ser instaladas en tres domicilios de la ciudad. En primera instancia, la ubicación ideal de las estaciones sería una en el norte, otra en el centro y una tercera en el sur de la ciudad.

Las estaciones deberían idealmente estar ubicadas de tal forma que den información del IUV que represente de la mejor manera a toda su zona. La del norte podría, por ejemplo, estar ubicada en el centro de la zona norte, pues esta parte de la ciudad, por sus características geográficas, se podría considerar como relativamente plana.

Los mismos criterios se aplicarían para las estaciones de la zona central y de la zona sur. Una ventaja importante que resulta de dividir Riobamba en las tres zonas indicadas es que, por ser relativamente planas, el IUV a cielo claro no cambia. De esta manera, se lograría tener una visión clara del IUV en el norte, centro y sur de la ciudad con una sola estación por zona.

Una tarea importante es buscar un domicilio en cada zona indicada en el cual el propietario de la vivienda permita instalar las estaciones, cuente con energía para alimentar a las mismas y una red wi-fi que permita la conexión de las estaciones a internet. Además, el propietario de la vivienda debe permitir el acceso a la misma para poder realizar la lectura de los datos, el mantenimiento y recalibración de las estaciones.

Ventajosamente, cada zona cuenta con muchos domicilios, lo que facilita encontrar una vivienda que cuente con las características indicadas. Lógicamente, la búsqueda se centra en domicilios de amigos o parientes que deseen colaborar con este proyecto.

La figura 6.1 muestra un mapa con la ubicación de las estaciones, además de la altura a la cual se ubicaron los sensores UV. Los domicilios pertenecen a familiares cercanos.

6.3 CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DE LAS ESTACIONES

La estación ubicada en la zona norte tiene las características siguientes:

- Altura del sensor: 2882 msnm
- Dirección: Napo y Azuay, casa 12

La estación ubicada en la zona centro tiene las características siguientes:

- Altura del sensor: 2789 msnm
- Dirección: Junín y Pichincha

La estación ubicada en la zona sur tiene las características siguientes:

- Altura del sensor: 2773 msnm
- Dirección: J. Chiriboga y Veloz

Figura 6.1. Mapa con la ubicación de las tres estaciones

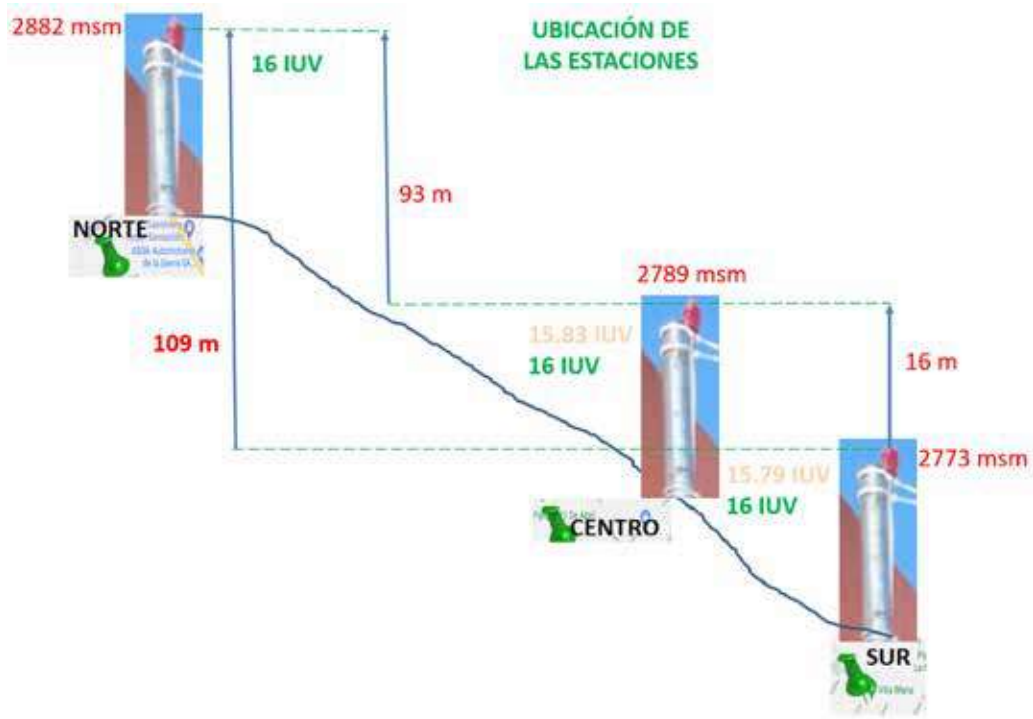


La figura 6.2 muestra la distancia entre sensores, así como también, algunos valores tipo del IUV en cada sensor. Como se puede apreciar, la diferencia en altura entre los sensores UV de la zona norte y centro es de noventa y tres metros; entre los de la zona norte y sur es de ciento nueve metros; y entre los de la zona centro y sur es de dieciséis metros.

El IUV máximo medido en la zona norte a cielo claro es 16 IUV; en la zona centro es 15,83 IUV que, como debe ser un valor entero por definición, se redondea a 16 IUV. Finalmente, en la zona sur, el valor de IUV máximo a cielo claro es de 15,79 IUV que, redondeado, da 16 IUV. De lo anterior, se puede concluir que el IUV máximo en Riobamba y a cielo claro es constante e igual a 16 IUV.

Este resultado no es nada raro, puesto que el IUV varía con la altura. Mientras mayor sea la altura sobre el nivel del mar, mayor será el IUV. La zona centro

Figura 6.2. Ubicación relativa de las tres estaciones



y sur de la ciudad se encuentran prácticamente a la misma altura, 2789 msnm y 2773 msnm respectivamente. De ahí que el IUV máximo a cielo claro es muy parecido en ellas, 15,83 IUV y 15,79 IUV. La zona norte se encuentra a una altura sobre el nivel del mar ligeramente mayor que las zonas centro y sur. Las diferencia en altura es de noventa y tres metros. De ahí que hay una pequeña diferencia en el IUV: 0,17. Pero esta, en la práctica, es despreciable.

6.4 CONCLUSIONES

- Las estaciones de medida del IUV fueron ubicadas en domicilios de parientes, pues solo en esos lugares se pudo disponer de energía eléctrica, internet y acceso a las estaciones.
- Los sectores norte, centro y sur de la ciudad son relativamente planos, por lo que el IUV a cielo claro no cambia sustancialmente en cada uno de esos sectores.
- En Riobamba, por ser una ciudad relativamente plana, el IUV a cielo claro se puede considerar como constante.
- La diferencia en altura entre las estaciones más alejadas es de ciento seis metros, por lo que, considerando que el IUV aumenta en un 4 % por cada trescientos metros de incremento de la altitud, para ciento seis metros da un incremento de 0,14 %. Como el IUV máximo medido es de dieciséis, entonces, la diferencia en IUV entre el sector norte y sur es de 0,022 IUV, es decir, $16 - 0,022 = 15,98$ que, para fines prácticos y como el IUV es un número entero, se redondea a 16.
- Entre las zonas centro y sur, la diferencia en altura es de quince metros, por lo que la variación en el IUV a cielo claro prácticamente no existe.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES

CONCLUSIONES FINALES

- Se logró desarrollar el primer modelo de predicción del IUV para Riobamba, así como del voltaje de las ondas electromagnéticas en las bandas UV A y B, que además es válido para cualquier sensor UV.
- La modelación de variables atmosféricas con fines de predicción es bastante complicada, debido a la incertidumbre de estas. Sin embargo, el modelo estadístico desarrollado acierta en el 87 % de los casos. Otros lo hacen en el 80 %.
- Muchas predicciones del IUV se hacen a cielo claro. Así se evita la complejidad del pronóstico de las nubes. Este modelo predice a cielo nuboso y claro.
- El error de predicción está en el error de la predicción del CMF y no en el modelo desarrollado a cielo claro.
- El CMF está ampliamente divulgado. Hay cientos de miles de sitios web con información.
- El modelo desarrollado solamente requiere la predicción de la nubosidad a diferencia de otros modelos que además requieren de la predicción del ozono.
- El procedimiento desarrollado es innovador y se puede utilizar para cualquier lugar de la tierra.
- La radiación solar en Riobamba es una de las más altas del mundo y no varía con las estaciones del año.

RECOMENDACIONES FINALES

- Verificar si la banda UV-C llega a la superficie terrestre.
- Cuantificar la radiación solar reflejada.
- Verificar si la curva del espectro de acción eritemática es válida para los diferentes tipos de piel de Ecuador y elaborar una tabla del fototipo cutáneo adecuada para la diversidad de piel ecuatoriana.
- Cuantificar el valor que alcanza el IUV durante las tormentas con descargas eléctricas.
- Verificar si la ceniza volcánica produce algún efecto en el IUV.
- Elaborar un documento que reglamente la conducta que deben tener las personas que trabajan al aire libre y que están expuestas directamente a la radiación solar.
- Determinar la variación del ozono en Riobamba.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Aristóteles, Los meteorológicos, Madrid: Alianza Editorial, 1997.
- [2] Wikipedia, “Meteorología”, 2008. [Online]. Disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Meteorolog%C3%ADa> [Acceso: diciembre de 2008].
- [3] A. Gutiérrez, Implementación de un sistema de adquisición de datos para variables meteorológicas, La Habana: Revista Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones, 2011.
- [4] M. Marín, Estudio de la irradiancia solar ultravioleta B e eritemática en la comunidad valenciana, Valencia: Universitat de València, 2007.
- [5] Solmáforo, “Solmáforo”, 2020. [Online]. Disponible en <http://www.solmaforo.com.pe/> [Acceso: enero de 2012].
- [6] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. “Solmáforos, novedosa iniciativa para medir los rayos ultravioleta en ciudades de Colombia”. [Online] . Disponible en <http://www.undp.org/content/undp/es/home/presscenter/articles/2012/11/23/solmaforos-novedosa-iniciativa-para-medir-los-rayos-ultravioleta-en-ciudades-de-colombia/>. [Acceso: noviembre de 2011].
- [7] Infobae. “Solmáferos, invento chileno contra los rayos UV” [Online]. Disponible en <http://www.infobae.com/2012/01/20/1042445-solmaforos-invento-chileno-contra-los-rayos-uv> [Acceso: enero de 2012].
- [8] El Telégrafo. “La edad y la exposición indebida a los rayos ultravioletas del sol son las principales causas de la patología” [Online]. Disponible en <http://telegrafo.com.ec/sociedad/item/13-300-britanicos-sufren-de-cancer-de-piel.html> [Acceso: 14 de abril de 2015].
- [9] Vital. “Once señales que te avisan de un posible cáncer” [Online]. Disponible en http://www.rpp.com.pe/2015-02-04-once-senales-que-te-avisan-de-un-posible-cancer-foto_766200_7.html [Acceso: 4 de febrero de 2015];
- [10] El Telégrafo. “Cruzada de alumnos para prevenir el cáncer de piel” [On-

- line]. Disponible en <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/regional-sur/1/cruzada-de-alumnos-para-prevenir-el-cancer-de-piel#1589> [Acceso 5 de febrero de 2014].
- [11] El Telégrafo. “Espoch emprende un proyecto de medidores de radiación con el uso de solmáforos”. [Online]. Disponible en http://www.ecuadorinmediato.com/index.php?module=Noticias&func=news_user_view&id=187008&umt=espoch_emprende_un_proyecto_de_medidores_de_radiacion3n_con_el_uso_de_22solme1foros22 [Acceso: julio de 2012].
- [12] EXA. “Agencia Espacial Civil Ecuatoriana” [Online]. Disponible en <http://www.exa.ec> [Acceso: octubre de 2014].
- [13] Organización Mundial de la Salud, “Índice UV solar mundial Guía práctica” [Online]. Disponible en <http://www.who.int/uv/publications/en/uvispa.pdf> [Acceso: 2003].
- [14] M. Marín, F. Tena, M. Gómez, P. Utrillas, J. Martínez, Ozono total en columna obtenido a partir de los satélites OMI, para la Comunidad Valenciana en 2008, Valencia, 2008.
- [15] TuTiempo.net, “Mini Atlas Meteorológico” [Online]. Disponible en <http://www.tutiempo.net/meteorologia/atlas-de-nubes.html> [Acceso: 2015];
- [16] W. Baldeón, V. Mora, Infosolar, Riobamba: ESPOCH, 2013.
- [17] M. Marqués, Probabilidad y estadística para ciencias químico biológicas, Ciudad de México: Mc Graw Hill, 2013.
- [18] J. Piña, Guía técnica radiación ultravioleta de origen solar, Santiago de Chile: Ministerio de Salud, 2011.
- [19] Meteogram, “Riobamba” [Online]. Disponible en https://www.meteo-blue.com/en/weather/forecast/meteogramfive/riobamba_ecuador_3652350 [Acceso: noviembre de 2015].
- [20] Inamhi, “Visualizador de datos índice UV” [Online]. Disponible en <http://186.42.174.236/IndiceUV2/> [Acceso: noviembre de 2015].
- [21] Arduino, “Arduino” [Online]. Disponible en <http://www.arduino.cc/es/>

- pmwiki.php?n= [Acceso: noviembre de 2015].
- [22] P. Tipler, M. Gene, Física para la ciencia y tecnología, Barcelona: Reverté, 2010.
- [23] R. Gunter, Meteorología, Barcelona: Omega, 2003.
- [24] J. Valee, Guía técnica de meteorología, Barcelona: Omega, 2005.
- [25] J. Mussey, Arduino for Dummies. West Sussex: Jhon Wiley & Sons, Led, 2013.
- [26] N. Coilav, L. Geoffrey, Arduino Aprender a desarrollar para crear objetos inteligentes, Barcelona: ENI, 2016.
- [27] M. Banzy, Introducción a Arduino, Madrid: Anaya Multimedia, 2012.
- [28] Arduino, Building Led and Espionaje Proyects Learning Path, Birminghan Bumbai: Pack Publishing, Ltd., 2016.
- [29] W. Baldeón, V. Mora, “Creación de un Dispositivo Electrónico que predice el IUUV mediante el modelamiento matemático del índice de radiación solar ultravioleta y del voltaje de las ondas electromagnéticas en las bandas UV-A Y UV-B para Riobamba”, Primer simposio Internacional de Investigación aplicado a las ciencias de ingeniería. Universidad Técnica de Quevedo, 7-9 noviembre del 2016.
- [30] W. Baldeón, V. Mora, “Diseño, Aplicaciones, Técnicas Avanzadas y Retos Actuales: Sistema Electrónico que predice el índice de radiación ultravioleta para Riobamba”, VI Simposio Internacional de Electrónica, La Habana, Cuba, 2018.

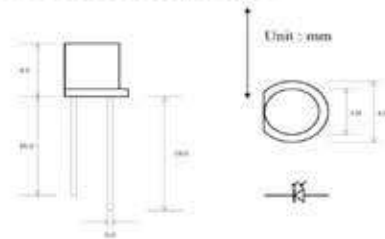
ANEXOS

ANEXO 1

HOJA DE DATOS DEL SENSOR UVI-01 DE REYAX TECHNOLOGY CO. LTD.

REYAX

UVI-01 Ultraviolet rays detector



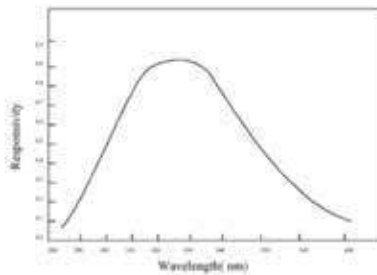
Features

The feature of the UVI-01 is able to detect the UVA and UVB band, and direct output the UVI (Ultraviolet INDEX). The UVI-01 is very suitable for the field of UV measurements.

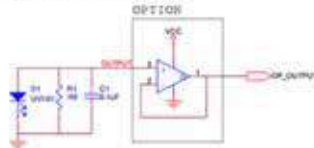
Absolute Maximum Ratings

Parameter	Min	Max	Unit
Operating ambient temperature range	-25	+20	°C
Storage temperature range	-40	+20	°C
Package body temperature		+260	°C
Humidity non-condensing	5	95	%RH

Wave length vs. Responsivity



Application Circuit



REYAX TECHNOLOGY CO.,LTD.

Address : #3, No.6 Aly. 30, Ln. 210, Wende Rd., Neihu Dist., Taipei City 11476, Taiwan

Web : <http://www.reyax.com>

Tel : +886-2-2627-7777

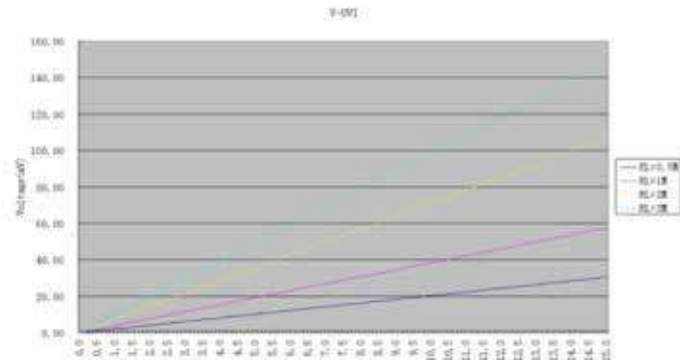
REYAX

ELECTTO-OPTICALCHARACTERISTICS

(Ta=25℃)

Parameter	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Spectral wavelength	λ_b	—	290	—	400	nm
The most sensitive wavelength	λ_p	—	—	330	—	nm
Output voltage	V_{dark}	$E_e=100\text{mW/m}^2$ $\lambda_p=330\text{nm}$	—	0	0.2	mV
Sensitivity	V_s	$R_L=1\text{M}\Omega$	3.9	4.0	4.1	mV/UVI
Inaccuracy	%	—	—	—	15	%
Reverse breakdown voltage	V_{BR}	—	30	40	100	V
Forward voltage	V_f	$I_f=10\text{mA}$	2.6	3.0	3.5	V
Capacity	C_i	$f=1\text{MHz}$	—	6	—	pF
Rise time	t_r	$R_L=1\text{M}\Omega$	—	10	—	mS
Fall time	t_f	$C_L=1000\text{pF}$	—	500	—	mS

UVI vs. Voltage output



ANEXO 2

VOLTAJES DEL SENSOR DE LOS DÍAS UNO Y DOS

1			2		
HORA	VOLTAJE A CIELO NUBOSO	VOLTAJE DE REFERENCIA A CIELO CLARO	HORA	VOLTAJE A CIELO NUBOSO	VOLTAJE DE REFERENCIA A CIELO CLARO
6	0	0	6	0	0
6,05	0	0	6,05	0	0
6,1	0	0	6,1	0	0
6,15	0	0	6,15	0	0
6,2	0	0	6,2	0	0
6,25	0	0	6,25	0	0
6,3	0	0,002	6,3	0	0,002
6,35	0	0,002	6,35	0	0,002
6,4	0	0,003	6,4	0	0,003
6,45	0	0,001	6,45	0	0,001
6,5	0	0,002	6,5	0	0,002
6,55	0,01	0,004	6,55	0	0,004
7	0	0,01	7	0	0,01
7,05	0	0,01	7,05	0	0,01
7,1	0	0,011	7,1	0	0,011
7,15	0,026	0,014	7,15	0	0,014
7,2	0,025	0,033	7,2	0	0,033
7,25	0,019	0,029	7,25	0	0,029
7,3	0,015	0,039	7,3	0	0,039
7,35	0,011	0,053	7,35	0	0,053
7,4	0	0,06	7,4	0	0,06
7,45	0	0,056	7,45	0	0,056
7,5	0,06	0,053	7,5	0	0,053
7,55	0	0,057	7,55	0	0,057
8	0	0,08	8	0	0,08
8,05	0	0,068	8,05	0	0,068

¿Cómo se creó el circuito integrado PIUVIR?

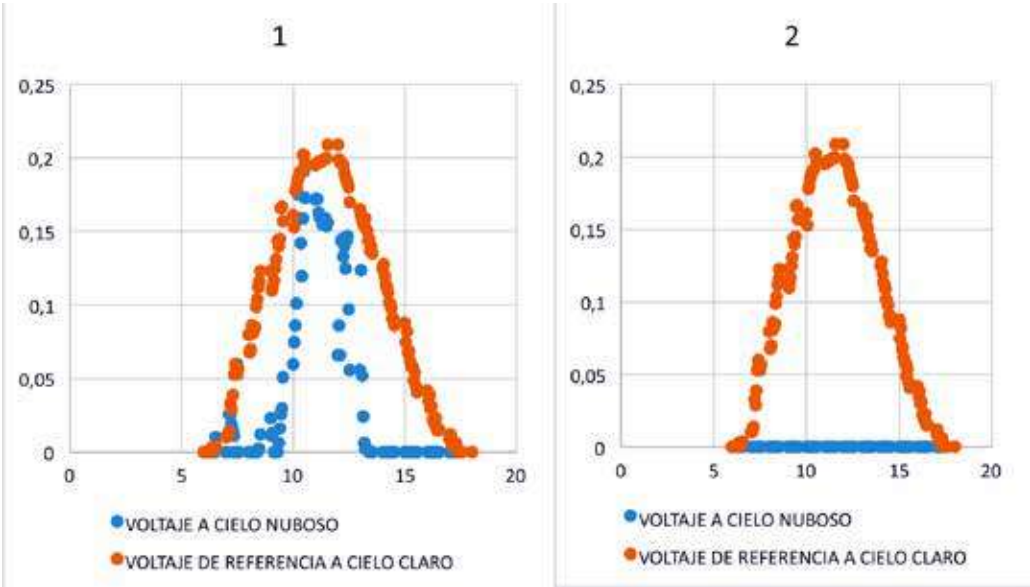
8,1	0	0,07	8,1	0	0,07
8,15	0	0,086	8,15	0	0,086
8,2	0	0,081	8,2	0	0,081
8,25	0	0,083	8,25	0	0,083
8,3	0	0,085	8,3	0	0,085
8,35	0	0,099	8,35	0	0,099
8,4	0	0,104	8,4	0	0,104
8,45	0,002	0,112	8,45	0	0,112
8,5	0,002	0,116	8,5	0	0,116
8,55	0,012	0,123	8,55	0	0,123
9	0,023	0,123	9	0	0,123
9,05	0,011	0,11	9,05	0	0,11
9,1	0,013	0,113	9,1	0	0,113
9,15	0	0,117	9,15	0	0,117
9,2	0	0,125	9,2	0	0,125
9,25	0	0,131	9,25	0	0,131
9,3	0	0,144	9,3	0	0,144
9,35	0,006	0,14	9,35	0	0,14
9,4	0,016	0,145	9,4	0	0,145
9,45	0,026	0,166	9,45	0	0,166
9,5	0,03	0,167	9,5	0	0,167
9,55	0,051	0,157	9,55	0	0,157
10	0,06	0,161	10	0	0,161
10,05	0,075	0,153	10,05	0	0,153
10,1	0,086	0,178	10,1	0	0,178
10,15	0,101	0,18	10,15	0	0,18
10,2	0,176	0,185	10,2	0	0,185
10,25	0,175	0,187	10,25	0	0,187
10,3	0,159	0,19	10,3	0	0,19
10,35	0,142	0,191	10,35	0	0,191
10,4	0,12	0,191	10,4	0	0,191
10,45	0,159	0,202	10,45	0	0,202
10,5	0,191	0,202	10,5	0	0,202
10,55	0,173	0,197	10,55	0	0,197
11	0,172	0,195	11	0	0,195
11,05	0,172	0,196	11,05	0	0,196

11,1	0,172	0,197	11,1	0	0,197
11,15	0,163	0,197	11,15	0	0,197
11,2	0,16	0,197	11,2	0	0,197
11,25	0,159	0,198	11,25	0	0,198
11,3	0,155	0,198	11,3	0	0,198
11,35	0,155	0,199	11,35	0	0,199
11,4	0,158	0,199	11,4	0	0,199
11,45	0,159	0,199	11,45	0	0,199
11,5	0,154	0,2	11,5	0	0,2
11,55	0,156	0,209	11,55	0	0,209
12	0,066	0,209	12	0	0,209
12,05	0,086	0,199	12,05	0	0,199
12,1	0,066	0,197	12,1	0	0,197
12,15	0,144	0,197	12,15	0	0,197
12,2	0,145	0,196	12,2	0	0,196
12,25	0,133	0,195	12,25	0	0,195
12,3	0,14	0,19	12,3	0	0,19
12,35	0,125	0,187	12,35	0	0,187
12,4	0,144	0,185	12,4	0	0,185
12,45	0,147	0,183	12,45	0	0,183
12,5	0,097	0,18	12,5	0	0,18
12,55	0,056	0,17	12,55	0	0,17
13	0,056	0,165	13	0	0,165
13,05	0,124	0,161	13,05	0	0,161
13,1	0,052	0,158	13,1	0	0,158
13,15	0,024	0,156	13,15	0	0,156
13,2	0,006	0,154	13,2	0	0,154
13,25	0,002	0,159	13,25	0	0,159
13,3	0,002	0,151	13,3	0	0,151
13,35	0,001	0,144	13,35	0	0,144
13,4	0	0,145	13,4	0	0,145
13,45	0	0,137	13,45	0	0,137
13,5	0	0,14	13,5	0	0,14
13,55	0	0,135	13,55	0	0,135
14	0	0,125	14	0	0,125
14,05	0	0,128	14,05	0	0,128

¿Cómo se creó el circuito integrado PIUVIR?

14,1	0	0,12	14,1	0	0,12
14,15	0	0,114	14,15	0	0,114
14,2	0	0,112	14,2	0	0,112
14,25	0	0,109	14,25	0	0,109
14,3	0	0,102	14,3	0	0,102
14,35	0	0,101	14,35	0	0,101
14,4	0	0,098	14,4	0	0,098
14,45	0	0,091	14,45	0	0,091
14,5	0	0,091	14,5	0	0,091
14,55	0	0,086	14,55	0	0,086
15	0	0,088	15	0	0,088
15,05	0	0,075	15,05	0	0,075
15,1	0	0,082	15,1	0	0,082
15,15	0	0,068	15,15	0	0,068
15,2	0	0,069	15,2	0	0,069
15,25	0	0,062	15,25	0	0,062
15,3	0	0,058	15,3	0	0,058
15,35	0	0,058	15,35	0	0,058
15,4	0	0,049	15,4	0	0,049
15,45	0	0,054	15,45	0	0,054
15,5	0	0,045	15,5	0	0,045
15,55	0	0,041	15,55	0	0,041
16	0	0,042	16	0	0,042
16,05	0	0,035	16,05	0	0,035
16,1	0	0,039	16,1	0	0,039
16,15	0	0,03	16,15	0	0,03
16,2	0	0,031	16,2	0	0,031
16,25	0	0,022	16,25	0	0,022
16,3	0	0,022	16,3	0	0,022
16,35	0	0,019	16,35	0	0,019
16,4	0	0,023	16,4	0	0,023
16,45	0	0,015	16,45	0	0,015
16,5	0	0,016	16,5	0	0,016
16,55	0	0,015	16,55	0	0,015
17	0	0,009	17	0	0,009
17,05	0	0,012	17,05	0	0,012

17,1	0	0,006	17,1	0	0,006
17,15	0	0,004	17,15	0	0,004
17,2	0	0,005	17,2	0	0,005
17,25	0	0,002	17,25	0	0,002
17,3	0	0,006	17,3	0	0,006
17,35	0	0,002	17,35	0	0,002
17,4	0	0	17,4	0	0
17,45	0	0	17,45	0	0
17,5	0	0	17,5	0	0
17,55	0	0	17,55	0	0
18	0	0	18	0	0



VOLTAJES DEL SENSOR DE LOS DÍAS TRES Y CUATRO

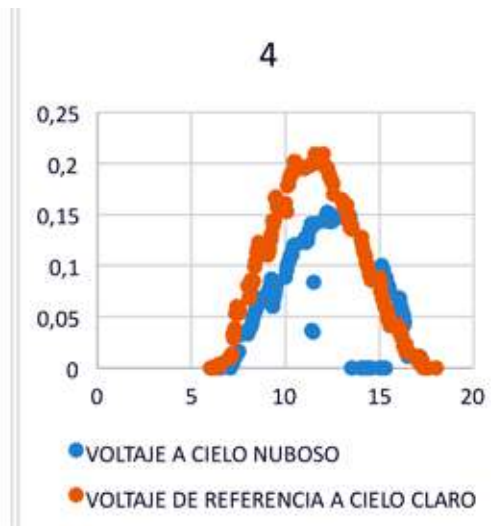
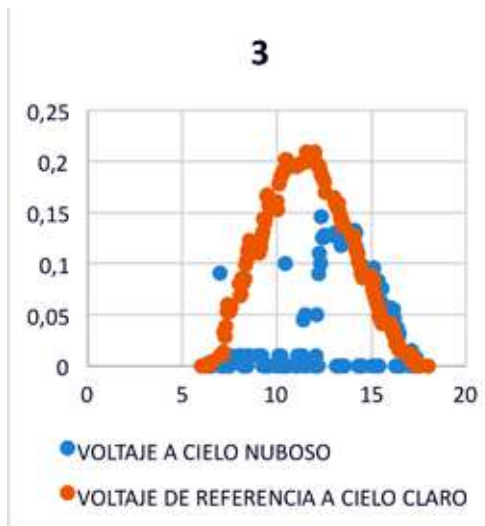
3			4		
HORA	VOLTAJE A CIELO NUBOSO	VOLTAJE DE REFERENCIA A CIELO CLARO	HORA	VOLTAJE A CIELO NUBOSO	VOLTAJE DE REFERENCIA A CIELO CLARO
6	0	0	6	0	0
6,05	0	0	6,05	0	0
6,1	0	0	6,1	0	0
6,15	0	0	6,15	0	0
6,2	0	0	6,2	0	0
6,25	0	0	6,25	0	0
6,3	0	0,002	6,3	0	0,002
6,35	0	0,002	6,35	0	0,002
6,4	0,001	0,003	6,4	0	0,003
6,45	0,001	0,001	6,45	0	0,001
6,5	0	0,002	6,5	0,001	0,002
6,55	0	0,004	6,55	0	0,004
7	0,091	0,01	7	0,001	0,01
7,05	0	0,01	7,05	0	0,01
7,1	0	0,011	7,1	0,004	0,011
7,15	0	0,014	7,15	0,005	0,014
7,2	0	0,033	7,2	0,005	0,033
7,25	0	0,029	7,25	0,009	0,029
7,3	0	0,039	7,3	0,01	0,039
7,35	0	0,053	7,35	0,011	0,053
7,4	0,01	0,06	7,4	0,013	0,06
7,45	0	0,056	7,45	0,015	0,056
7,5	0	0,053	7,5	0,016	0,053
7,55	0,01	0,057	7,55	0,032	0,057
8	0,01	0,08	8	0,033	0,08
8,05	0,01	0,068	8,05	0,037	0,068
8,1	0,01	0,07	8,1	0,039	0,07
8,15	0,01	0,086	8,15	0,04	0,086

8,2	0	0,081	8,2	0,042	0,081
8,25	0	0,083	8,25	0,047	0,083
8,3	0	0,085	8,3	0,051	0,085
8,35	0	0,099	8,35	0,054	0,099
8,4	0	0,104	8,4	0,056	0,104
8,45	0,01	0,112	8,45	0,059	0,112
8,5	0,01	0,116	8,5	0,061	0,116
8,55	0,01	0,123	8,55	0,068	0,123
9	0,01	0,123	9	0,069	0,123
9,05	0,01	0,11	9,05	0,073	0,11
9,1	0,01	0,113	9,1	0,075	0,113
9,15	0,01	0,117	9,15	0,078	0,117
9,2	0,01	0,125	9,2	0,084	0,125
9,25	0	0,131	9,25	0,087	0,131
9,3	0	0,144	9,3	0,06	0,144
9,35	0	0,14	9,35	0,065	0,14
9,4	0	0,145	9,4	0,071	0,145
9,45	0	0,166	9,45	0,075	0,166
9,5	0	0,167	9,5	0,08	0,167
9,55	0	0,157	9,55	0,084	0,157
10	0	0,161	10	0,089	0,161
10,05	0	0,153	10,05	0,096	0,153
10,1	0,01	0,178	10,1	0,101	0,178
10,15	0,01	0,18	10,15	0,104	0,18
10,2	0,01	0,185	10,2	0,106	0,185
10,25	0	0,187	10,25	0,109	0,187
10,3	0	0,19	10,3	0,112	0,19
10,35	0	0,191	10,35	0,11	0,191
10,4	0	0,191	10,4	0,118	0,191
10,45	0,1	0,202	10,45	0,12	0,202
10,5	0	0,202	10,5	0,12	0,202
10,55	0	0,197	10,55	0,12	0,197
11	0	0,195	11	0,125	0,195
11,05	0	0,196	11,05	0,127	0,196

11,1	0,01	0,197	11,1	0,123	0,197
11,15	0,01	0,197	11,15	0,124	0,197
11,2	0,01	0,197	11,2	0,128	0,197
11,25	0,01	0,198	11,25	0,134	0,198
11,3	0,01	0,198	11,3	0,135	0,198
11,35	0,01	0,199	11,35	0,141	0,199
11,4	0,045	0,199	11,4	0,037	0,199
11,45	0	0,199	11,45	0,035	0,199
11,5	0,05	0,2	11,5	0,084	0,2
11,55	0	0,209	11,55	0,141	0,209
12	0	0,209	12	0,144	0,209
12,05	0,01	0,199	12,05	0,145	0,199
12,1	0,05	0,197	12,1	0,144	0,197
12,15	0	0,197	12,15	0,148	0,197
12,2	0,09	0,196	12,2	0,152	0,196
12,25	0,11	0,195	12,25	0,149	0,195
12,3	0,1	0,19	12,3	0,149	0,19
12,35	0,146	0,187	12,35	0,151	0,187
12,4	0,125	0,185	12,4	0,143	0,185
12,45	0,125	0,183	12,45	0,144	0,183
12,5	0,128	0,18	12,5	0,144	0,18
12,55	0,128	0,17	12,55	0,147	0,17
13	0,127	0,165	13	0,147	0,165
13,05	0,129	0,161	13,05	0,148	0,161
13,1	0,131	0,158	13,1	0,148	0,158
13,15	0	0,156	13,15	0,153	0,156
13,2	0,131	0,154	13,2	0,151	0,154
13,25	0	0,159	13,25	0,151	0,159
13,3	0,129	0,151	13,3	0,149	0,151
13,35	0,128	0,144	13,35	0,149	0,144
13,4	0,118	0,145	13,4	0,149	0,145
13,45	0	0,137	13,45	0,145	0,137
13,5	0,129	0,14	13,5	0	0,14
13,55	0	0,135	13,55	0	0,135

14	0,128	0,125	14	0	0,125
14,05	0,125	0,128	14,05	0	0,128
14,1	0,133	0,12	14,1	0	0,12
14,15	0,13	0,114	14,15	0	0,114
14,2	0,115	0,112	14,2	0	0,112
14,25	0,111	0,109	14,25	0	0,109
14,3	0	0,102	14,3	0	0,102
14,35	0	0,101	14,35	0	0,101
14,4	0	0,098	14,4	0	0,098
14,45	0	0,091	14,45	0	0,091
14,5	0	0,091	14,5	0	0,091
14,55	0,098	0,086	14,55	0	0,086
15	0	0,088	15	0	0,088
15,05	0,09	0,075	15,05	0	0,075
15,1	0,096	0,082	15,1	0,1	0,082
15,15	0,082	0,068	15,15	0	0,068
15,2	0	0,069	15,2	0,096	0,069
15,25	0,08	0,062	15,25	0,09	0,062
15,3	0,073	0,058	15,3	0	0,058
15,35	0,083	0,058	15,35	0,088	0,058
15,4	0	0,049	15,4	0,082	0,049
15,45	0,061	0,054	15,45	0,081	0,054
15,5	0,063	0,045	15,5	0,078	0,045
15,55	0,076	0,041	15,55	0,074	0,041
16	0,057	0,042	16	0,069	0,042
16,05	0,049	0,035	16,05	0,068	0,035
16,1	0,052	0,039	16,1	0,062	0,039
16,15	0,055	0,03	16,15	0,058	0,03
16,2	0,046	0,031	16,2	0,054	0,031
16,25	0	0,022	16,25	0,052	0,022
16,3	0	0,022	16,3	0,042	0,022
16,35	0,037	0,019	16,35	0,045	0,019
16,4	0	0,023	16,4	0,017	0,023
16,45	0,031	0,015	16,45	0,014	0,015

16,5	0	0,016	16,5	0,011	0,016
16,55	0	0,015	16,55	0,013	0,015
17	0,014	0,009	17	0,009	0,009
17,05	0	0,012	17,05	0,009	0,012
17,1	0,015	0,006	17,1	0,01	0,006
17,15	0,004	0,004	17,15	0,011	0,004
17,2	0,004	0,005	17,2	0,01	0,005
17,25	0	0,002	17,25	0,002	0,002
17,3	0	0,006	17,3	0,001	0,006
17,35	0,008	0,002	17,35	0	0,002
17,4	0,004	0	17,4	0	0
17,45	0,002	0	17,45	0	0
17,5	0,001	0	17,5	0	0
17,55	0	0	17,55	0	0
18	0	0	18	0	0



VOLTAJES DEL SENSOR DE LOS DÍAS CINCO Y SEIS

5			6		
HORA	VOLTAJE A CIELO NUBOSO	VOLTAJE DE REFERENCIA A CIELO CLARO	HORA	VOLTAJE A CIELO NUBOSO	VOLTAJE DE REFERENCIA A CIELO CLARO
6	0	0	6	0	0
6,05	0	0	6,05	0	0
6,1	0	0	6,1	0	0
6,15	0	0	6,15	0	0
6,2	0	0	6,2	0	0
6,25	0	0	6,25	0	0
6,3	0	0,002	6,3	0	0,002
6,35	0	0,002	6,35	0	0,002
6,4	0	0,003	6,4	0	0,003
6,45	0,001	0,001	6,45	0	0,001
6,5	0	0,002	6,5	0	0,002
6,55	0,003	0,004	6,55	0	0,004
7	0,004	0,01	7	0	0,01
7,05	0,003	0,01	7,05	0	0,01
7,1	0,006	0,011	7,1	0,001	0,011
7,15	0,005	0,014	7,15	0,005	0,014
7,2	0,008	0,033	7,2	0,002	0,033
7,25	0,009	0,029	7,25	0,005	0,029
7,3	0,009	0,039	7,3	0,003	0,039
7,35	0,01	0,053	7,35	0,004	0,053
7,4	0,012	0,06	7,4	0,005	0,06
7,45	0,012	0,056	7,45	0,01	0,056
7,5	0,013	0,053	7,5	0,02	0,053
7,55	0,016	0,057	7,55	0,025	0,057
8	0,017	0,08	8	0,023	0,08
8,05	0,017	0,068	8,05	0,025	0,068
8,1	0,019	0,07	8,1	0,027	0,07
8,15	0,02	0,086	8,15	0,026	0,086

8,2	0,023	0,081	8,2	0,028	0,081
8,25	0,024	0,083	8,25	0,031	0,083
8,3	0,026	0,085	8,3	0,028	0,085
8,35	0,053	0,099	8,35	0,032	0,099
8,4	0,057	0,104	8,4	0,035	0,104
8,45	0,061	0,112	8,45	0,034	0,112
8,5	0,066	0,116	8,5	0,045	0,116
8,55	0,067	0,123	8,55	0,029	0,123
9	0,069	0,123	9	0,026	0,123
9,05	0,073	0,11	9,05	0,065	0,11
9,1	0,076	0,113	9,1	0,07	0,113
9,15	0,076	0,117	9,15	0,054	0,117
9,2	0,081	0,125	9,2	0,078	0,125
9,25	0,084	0,131	9,25	0	0,131
9,3	0,086	0,144	9,3	0,074	0,144
9,35	0,09	0,14	9,35	0,071	0,14
9,4	0,095	0,145	9,4	0,089	0,145
9,45	0,096	0,166	9,45	0,089	0,166
9,5	0,098	0,167	9,5	0,092	0,167
9,55	0,1	0,157	9,55	0,096	0,157
10	0,102	0,161	10	0,099	0,161
10,05	0,102	0,153	10,05	0,102	0,153
10,1	0,104	0,178	10,1	0,103	0,178
10,15	0,108	0,18	10,15	0,106	0,18
10,2	0,109	0,185	10,2	0,11	0,185
10,25	0,109	0,187	10,25	0,115	0,187
10,3	0,114	0,19	10,3	0,116	0,19
10,35	0,114	0,191	10,35	0,115	0,191
10,4	0,116	0,191	10,4	0,119	0,191
10,45	0,117	0,202	10,45	0,124	0,202
10,5	0,118	0,202	10,5	0,126	0,202
10,55	0,118	0,197	10,55	0,125	0,197
11	0,119	0,195	11	0,127	0,195
11,05	0,12	0,196	11,05	0,126	0,196

11,1	0,119	0,197	11,1	0,129	0,197
11,15	0,123	0,197	11,15	0,13	0,197
11,2	0,123	0,197	11,2	0,131	0,197
11,25	0,123	0,198	11,25	0,137	0,198
11,3	0,122	0,198	11,3	0,137	0,198
11,35	0,124	0,199	11,35	0,139	0,199
11,4	0,126	0,199	11,4	0,139	0,199
11,45	0,127	0,199	11,45	0,142	0,199
11,5	0,127	0,2	11,5	0,142	0,2
11,55	0,133	0,209	11,55	0,142	0,209
12	0,133	0,209	12	0,14	0,209
12,05	0,133	0,199	12,05	0,144	0,199
12,1	0,132	0,197	12,1	0,151	0,197
12,15	0,132	0,197	12,15	0,145	0,197
12,2	0,131	0,196	12,2	0,142	0,196
12,25	0,134	0,195	12,25	0,148	0,195
12,3	0,133	0,19	12,3	0,145	0,19
12,35	0,137	0,187	12,35	0,144	0,187
12,4	0,138	0,185	12,4	0,143	0,185
12,45	0,137	0,183	12,45	0,152	0,183
12,5	0,138	0,18	12,5	0,147	0,18
12,55	0,142	0,17	12,55	0,148	0,17
13	0,144	0,165	13	0,148	0,165
13,05	0,141	0,161	13,05	0,148	0,161
13,1	0,143	0,158	13,1	0,146	0,158
13,15	0,139	0,156	13,15	0,144	0,156
13,2	0,14	0,154	13,2	0,145	0,154
13,25	0,138	0,159	13,25	0,14	0,159
13,3	0,135	0,151	13,3	0,142	0,151
13,35	0,133	0,144	13,35	0,138	0,144
13,4	0,132	0,145	13,4	0,137	0,145
13,45	0,129	0,137	13,45	0,132	0,137
13,5	0,128	0,14	13,5	0,131	0,14
13,55	0,123	0,135	13,55	0,13	0,135

14	0,12	0,125	14	0,128	0,125
14,05	0,119	0,128	14,05	0,126	0,128
14,1	0,114	0,12	14,1	0,123	0,12
14,15	0,111	0,114	14,15	0,119	0,114
14,2	0,109	0,112	14,2	0,117	0,112
14,25	0,103	0,109	14,25	0,113	0,109
14,3	0,099	0,102	14,3	0,111	0,102
14,35	0,097	0,101	14,35	0,106	0,101
14,4	0,094	0,098	14,4	0,106	0,098
14,45	0,095	0,091	14,45	0,102	0,091
14,5	0,091	0,091	14,5	0,101	0,091
14,55	0,083	0,086	14,55	0,1	0,086
15	0,035	0,088	15	0,095	0,088
15,05	0,032	0,075	15,05	0,09	0,075
15,1	0,026	0,082	15,1	0,089	0,082
15,15	0,019	0,068	15,15	0,088	0,068
15,2	0,025	0,069	15,2	0,082	0,069
15,25	0,039	0,062	15,25	0,078	0,062
15,3	0,077	0,058	15,3	0,077	0,058
15,35	0,054	0,058	15,35	0,069	0,058
15,4	0,032	0,049	15,4	0,037	0,049
15,45	0,063	0,054	15,45	0,073	0,054
15,5	0,06	0,045	15,5	0,074	0,045
15,55	0,053	0,041	15,55	0,04	0,041
16	0,034	0,042	16	0,031	0,042
16,05	0,046	0,035	16,05	0,028	0,035
16,1	0,018	0,039	16,1	0,022	0,039
16,15	0,014	0,03	16,15	0,014	0,03
16,2	0,015	0,031	16,2	0,012	0,031
16,25	0,01	0,022	16,25	0,008	0,022
16,3	0,011	0,022	16,3	0,006	0,022
16,35	0,1	0,019	16,35	0,008	0,019
16,4	0	0,023	16,4	0,004	0,023
16,45	0	0,015	16,45	0,002	0,015

16,5	0	0,016	16,5	0	0,016
16,55	0	0,015	16,55	0	0,015
17	0	0,009	17	0	0,009
17,05	0	0,012	17,05	0	0,012
17,1	0	0,006	17,1	0	0,006
17,15	0	0,004	17,15	0	0,004
17,2	0	0,005	17,2	0	0,005
17,25	0	0,002	17,25	0	0,002
17,3	0	0,006	17,3	0	0,006
17,35	0	0,002	17,35	0	0,002
17,4	0	0	17,4	0	0
17,45	0	0	17,45	0	0
17,5	0	0	17,5	0	0
17,55	0	0	17,55	0	0
18	0	0	18	0	0



VOLTAJES DEL SENSOR DE LOS DÍAS SIETE Y OCHO

7			8		
HORA	VOLTAJE A CIELO NUBOSO	VOLTAJE DE REFERENCIA A CIELO CLARO	HORA	VOLTAJE A CIELO NUBOSO	VOLTAJE DE REFERENCIA A CIELO CLARO
6	0	0	6	0	0
6,05	0	0	6,05	0	0
6,1	0	0	6,1	0	0
6,15	0	0	6,15	0	0
6,2	0	0	6,2	0	0
6,25	0	0	6,25	0	0
6,3	0	0,002	6,3	0	0,002
6,35	0	0,002	6,35	0	0,002
6,4	0	0,003	6,4	0	0,003
6,45	0	0,001	6,45	0	0,001
6,5	0	0,002	6,5	0	0,002
6,55	0,002	0,004	6,55	0,003	0,004
7	0,002	0,01	7	0,001	0,01
7,05	0,005	0,01	7,05	0,004	0,01
7,1	0,005	0,011	7,1	0,006	0,011
7,15	0,009	0,014	7,15	0,009	0,014
7,2	0,009	0,033	7,2	0,01	0,033
7,25	0,009	0,029	7,25	0,006	0,029
7,3	0,013	0,039	7,3	0,006	0,039
7,35	0,014	0,053	7,35	0,003	0,053
7,4	0,015	0,06	7,4	0,001	0,06
7,45	0,014	0,056	7,45	0	0,056
7,5	0,014	0,053	7,5	0,001	0,053
7,55	0,018	0,057	7,55	0,002	0,057
8	0,029	0,08	8	0,006	0,08
8,05	0,029	0,068	8,05	0,005	0,068
8,1	0,031	0,07	8,1	0,005	0,07
8,15	0,034	0,086	8,15	0,008	0,086

8,2	0,037	0,081	8,2	0,01	0,081
8,25	0,04	0,083	8,25	0,022	0,083
8,3	0,044	0,085	8,3	0,015	0,085
8,35	0,047	0,099	8,35	0,039	0,099
8,4	0,049	0,104	8,4	0,053	0,104
8,45	0,052	0,112	8,45	0,046	0,112
8,5	0,056	0,116	8,5	0,054	0,116
8,55	0,058	0,123	8,55	0,038	0,123
9	0,1	0,123	9	0,032	0,123
9,05	0,11	0,11	9,05	0,04	0,11
9,1	0,133	0,113	9,1	0,032	0,113
9,15	0,1	0,117	9,15	0,028	0,117
9,2	0,043	0,125	9,2	0,025	0,125
9,25	0,076	0,131	9,25	0,046	0,131
9,3	0,077	0,144	9,3	0,08	0,144
9,35	0,087	0,14	9,35	0,087	0,14
9,4	0,08	0,145	9,4	0,091	0,145
9,45	0,09	0,166	9,45	0,092	0,166
9,5	0,095	0,167	9,5	0,096	0,167
9,55	0,1	0,157	9,55	0,102	0,157
10	0,1	0,161	10	0,108	0,161
10,05	0,102	0,153	10,05	0,111	0,153
10,1	0,109	0,178	10,1	0,116	0,178
10,15	0,11	0,18	10,15	0,123	0,18
10,2	0,112	0,185	10,2	0,052	0,185
10,25	0,113	0,187	10,25	0,057	0,187
10,3	0,119	0,19	10,3	0,062	0,19
10,35	0,123	0,191	10,35	0,135	0,191
10,4	0,123	0,191	10,4	0,135	0,191
10,45	0,04	0,202	10,45	0,138	0,202
10,5	0,126	0,202	10,5	0,14	0,202
10,55	0,132	0,197	10,55	0,132	0,197
11	0,13	0,195	11	0,138	0,195
11,05	0,134	0,196	11,05	0,139	0,196

11,1	0,139	0,197	11,1	0,139	0,197
11,15	0,137	0,197	11,15	0,14	0,197
11,2	0,141	0,197	11,2	0,146	0,197
11,25	0,143	0,198	11,25	0,147	0,198
11,3	0,147	0,198	11,3	0,152	0,198
11,35	0,152	0,199	11,35	0,155	0,199
11,4	0,181	0,199	11,4	0,165	0,199
11,45	0,189	0,199	11,45	0,162	0,199
11,5	0,02	0,2	11,5	0,152	0,2
11,55	0,155	0,209	11,55	0,163	0,209
12	0	0,209	12	0,198	0,209
12,05	0,159	0,199	12,05	0,113	0,199
12,1	0,158	0,197	12,1	0,127	0,197
12,15	0,155	0,197	12,15	0,073	0,197
12,2	0,13	0,196	12,2	0,131	0,196
12,25	0,194	0,195	12,25	0,096	0,195
12,3	0,124	0,19	12,3	0,073	0,19
12,35	0,066	0,187	12,35	0,178	0,187
12,4	0,183	0,185	12,4	0,162	0,185
12,45	0,078	0,183	12,45	0,157	0,183
12,5	0,058	0,18	12,5	0,137	0,18
12,55	0,157	0,17	12,55	0,154	0,17
13	0,09	0,165	13	0,154	0,165
13,05	0,144	0,161	13,05	0,156	0,161
13,1	0,156	0,158	13,1	0,155	0,158
13,15	0,147	0,156	13,15	0,157	0,156
13,2	0,146	0,154	13,2	0,153	0,154
13,25	0,148	0,159	13,25	0,157	0,159
13,3	0,144	0,151	13,3	0,161	0,151
13,35	0,145	0,144	13,35	0,156	0,144
13,4	0,141	0,145	13,4	0,152	0,145
13,45	0,141	0,137	13,45	0,145	0,137
13,5	0,137	0,14	13,5	0,14	0,14
13,55	0,133	0,135	13,55	0,138	0,135

14	0,131	0,125	14	0,144	0,125
14,05	0,13	0,128	14,05	0,134	0,128
14,1	0,13	0,12	14,1	0,134	0,12
14,15	0,127	0,114	14,15	0,135	0,114
14,2	0,124	0,112	14,2	0,088	0,112
14,25	0,122	0,109	14,25	0,137	0,109
14,3	0,116	0,102	14,3	0,088	0,102
14,35	0,112	0,101	14,35	0,118	0,101
14,4	0,111	0,098	14,4	0,048	0,098
14,45	0,109	0,091	14,45	0,043	0,091
14,5	0,109	0,091	14,5	0,094	0,091
14,55	0,106	0,086	14,55	0,118	0,086
15	0,103	0,088	15	0,106	0,088
15,05	0,099	0,075	15,05	0,108	0,075
15,1	0,095	0,082	15,1	0,102	0,082
15,15	0,09	0,068	15,15	0,058	0,068
15,2	0,087	0,069	15,2	0,1	0,069
15,25	0,084	0,062	15,25	0,094	0,062
15,3	0,081	0,058	15,3	0,089	0,058
15,35	0,075	0,058	15,35	0,078	0,058
15,4	0,073	0,049	15,4	0,026	0,049
15,45	0,071	0,054	15,45	0,025	0,054
15,5	0,068	0,045	15,5	0,019	0,045
15,55	0,063	0,041	15,55	0,015	0,041
16	0,061	0,042	16	0,011	0,042
16,05	0,057	0,035	16,05	0	0,035
16,1	0,056	0,039	16,1	0	0,039
16,15	0,051	0,03	16,15	0	0,03
16,2	0,048	0,031	16,2	0	0,031
16,25	0,044	0,022	16,25	0	0,022
16,3	0,042	0,022	16,3	0	0,022
16,35	0,038	0,019	16,35	0	0,019
16,4	0,035	0,023	16,4	0	0,023
16,45	0,033	0,015	16,45	0	0,015

16,5	0,029	0,016	16,5	0	0,016
16,55	0,027	0,015	16,55	0	0,015
17	0,023	0,009	17	0	0,009
17,05	0,02	0,012	17,05	0	0,012
17,1	0,019	0,006	17,1	0	0,006
17,15	0,016	0,004	17,15	0	0,004
17,2	0,013	0,005	17,2	0	0,005
17,25	0,01	0,002	17,25	0	0,002
17,3	0,009	0,006	17,3	0	0,006
17,35	0,005	0,002	17,35	0	0,002
17,4	0,004	0	17,4	0	0
17,45	0,003	0	17,45	0	0
17,5	0,001	0	17,5	0	0
17,55	0,001	0	17,55	0	0
18	0	0	18	0	0



VOLTAJES DEL SENSOR DE LOS DÍAS OCHO Y NUEVE

8			9		
HORA	VOLTAJE A CIELO NUBOSO	VOLTAJE DE REFERENCIA A CIELO CLARO	HORA	VOLTAJE A CIELO NUBOSO	VOLTAJE DE REFERENCIA A CIELO CLARO
6	0	0	6	0	0
6,05	0	0	6,05	0	0
6,1	0	0	6,1	0	0
6,15	0	0	6,15	0	0
6,2	0	0	6,2	0	0
6,25	0	0	6,25	0	0
6,3	0	0,002	6,3	0	0,002
6,35	0	0,002	6,35	0	0,002
6,4	0	0,003	6,4	0	0,003
6,45	0,001	0,001	6,45	0	0,001
6,5	0	0,002	6,5	0	0,002
6,55	0,003	0,004	6,55	0	0,004
7	0,004	0,01	7	0	0,01
7,05	0,003	0,01	7,05	0	0,01
7,1	0,006	0,011	7,1	0,001	0,011
7,15	0,005	0,014	7,15	0,005	0,014
7,2	0,008	0,033	7,2	0,002	0,033
7,25	0,009	0,029	7,25	0,005	0,029
7,3	0,009	0,039	7,3	0,003	0,039
7,35	0,01	0,053	7,35	0,004	0,053
7,4	0,012	0,06	7,4	0,005	0,06
7,45	0,012	0,056	7,45	0,01	0,056
7,5	0,013	0,053	7,5	0,02	0,053
7,55	0,016	0,057	7,55	0,025	0,057
8	0,017	0,08	8	0,023	0,08
8,05	0,017	0,068	8,05	0,025	0,068
8,1	0,019	0,07	8,1	0,027	0,07
8,15	0,02	0,086	8,15	0,026	0,086

8,2	0,023	0,081	8,2	0,028	0,081
8,25	0,024	0,083	8,25	0,031	0,083
8,3	0,026	0,085	8,3	0,028	0,085
8,35	0,053	0,099	8,35	0,032	0,099
8,4	0,057	0,104	8,4	0,035	0,104
8,45	0,061	0,112	8,45	0,034	0,112
8,5	0,066	0,116	8,5	0,045	0,116
8,55	0,067	0,123	8,55	0,029	0,123
9	0,069	0,123	9	0,026	0,123
9,05	0,073	0,11	9,05	0,065	0,11
9,1	0,076	0,113	9,1	0,07	0,113
9,15	0,076	0,117	9,15	0,054	0,117
9,2	0,081	0,125	9,2	0,078	0,125
9,25	0,084	0,131	9,25	0	0,131
9,3	0,086	0,144	9,3	0,074	0,144
9,35	0,09	0,14	9,35	0,071	0,14
9,4	0,095	0,145	9,4	0,089	0,145
9,45	0,096	0,166	9,45	0,089	0,166
9,5	0,098	0,167	9,5	0,092	0,167
9,55	0,1	0,157	9,55	0,096	0,157
10	0,102	0,161	10	0,099	0,161
10,05	0,102	0,153	10,05	0,102	0,153
10,1	0,104	0,178	10,1	0,103	0,178
10,15	0,108	0,18	10,15	0,106	0,18
10,2	0,109	0,185	10,2	0,11	0,185
10,25	0,109	0,187	10,25	0,115	0,187
10,3	0,114	0,19	10,3	0,116	0,19
10,35	0,114	0,191	10,35	0,115	0,191
10,4	0,116	0,191	10,4	0,119	0,191
10,45	0,117	0,202	10,45	0,124	0,202
10,5	0,118	0,202	10,5	0,126	0,202
10,55	0,118	0,197	10,55	0,125	0,197
11	0,119	0,195	11	0,127	0,195
11,05	0,12	0,196	11,05	0,126	0,196

11,1	0,119	0,197	11,1	0,129	0,197
11,15	0,123	0,197	11,15	0,13	0,197
11,2	0,123	0,197	11,2	0,131	0,197
11,25	0,123	0,198	11,25	0,137	0,198
11,3	0,122	0,198	11,3	0,137	0,198
11,35	0,124	0,199	11,35	0,139	0,199
11,4	0,126	0,199	11,4	0,139	0,199
11,45	0,127	0,199	11,45	0,142	0,199
11,5	0,127	0,2	11,5	0,142	0,2
11,55	0,133	0,209	11,55	0,142	0,209
12	0,133	0,209	12	0,14	0,209
12,05	0,133	0,199	12,05	0,144	0,199
12,1	0,132	0,197	12,1	0,151	0,197
12,15	0,132	0,197	12,15	0,145	0,197
12,2	0,131	0,196	12,2	0,142	0,196
12,25	0,134	0,195	12,25	0,148	0,195
12,3	0,133	0,19	12,3	0,145	0,19
12,35	0,137	0,187	12,35	0,144	0,187
12,4	0,138	0,185	12,4	0,143	0,185
12,45	0,137	0,183	12,45	0,152	0,183
12,5	0,138	0,18	12,5	0,147	0,18
12,55	0,142	0,17	12,55	0,148	0,17
13	0,144	0,165	13	0,148	0,165
13,05	0,141	0,161	13,05	0,148	0,161
13,1	0,143	0,158	13,1	0,146	0,158
13,15	0,139	0,156	13,15	0,144	0,156
13,2	0,14	0,154	13,2	0,145	0,154
13,25	0,138	0,159	13,25	0,14	0,159
13,3	0,135	0,151	13,3	0,142	0,151
13,35	0,133	0,144	13,35	0,138	0,144
13,4	0,132	0,145	13,4	0,137	0,145
13,45	0,129	0,137	13,45	0,132	0,137
13,5	0,128	0,14	13,5	0,131	0,14
13,55	0,123	0,135	13,55	0,13	0,135

14	0,12	0,125	14	0,128	0,125
14,05	0,119	0,128	14,05	0,126	0,128
14,1	0,114	0,12	14,1	0,123	0,12
14,15	0,111	0,114	14,15	0,119	0,114
14,2	0,109	0,112	14,2	0,117	0,112
14,25	0,103	0,109	14,25	0,113	0,109
14,3	0,099	0,102	14,3	0,111	0,102
14,35	0,097	0,101	14,35	0,106	0,101
14,4	0,094	0,098	14,4	0,106	0,098
14,45	0,095	0,091	14,45	0,102	0,091
14,5	0,091	0,091	14,5	0,101	0,091
14,55	0,083	0,086	14,55	0,1	0,086
15	0,035	0,088	15	0,095	0,088
15,05	0,032	0,075	15,05	0,09	0,075
15,1	0,026	0,082	15,1	0,089	0,082
15,15	0,019	0,068	15,15	0,088	0,068
15,2	0,025	0,069	15,2	0,082	0,069
15,25	0,039	0,062	15,25	0,078	0,062
15,3	0,077	0,058	15,3	0,077	0,058
15,35	0,054	0,058	15,35	0,069	0,058
15,4	0,032	0,049	15,4	0,037	0,049
15,45	0,063	0,054	15,45	0,073	0,054
15,5	0,06	0,045	15,5	0,074	0,045
15,55	0,053	0,041	15,55	0,04	0,041
16	0,034	0,042	16	0,031	0,042
16,05	0,046	0,035	16,05	0,028	0,035
16,1	0,018	0,039	16,1	0,022	0,039
16,15	0,014	0,03	16,15	0,014	0,03
16,2	0,015	0,031	16,2	0,012	0,031
16,25	0,01	0,022	16,25	0,008	0,022
16,3	0,011	0,022	16,3	0,006	0,022
16,35	0,1	0,019	16,35	0,008	0,019
16,4	0	0,023	16,4	0,004	0,023
16,45	0	0,015	16,45	0,002	0,015

16,5	0	0,016	16,5	0	0,016
16,55	0	0,015	16,55	0	0,015
17	0	0,009	17	0	0,009
17,05	0	0,012	17,05	0	0,012
17,1	0	0,006	17,1	0	0,006
17,15	0	0,004	17,15	0	0,004
17,2	0	0,005	17,2	0	0,005
17,25	0	0,002	17,25	0	0,002
17,3	0	0,006	17,3	0	0,006
17,35	0	0,002	17,35	0	0,002
17,4	0	0	17,4	0	0
17,45	0	0	17,45	0	0
17,5	0	0	17,5	0	0
17,55	0	0	17,55	0	0
18	0	0	18	0	0

¿Cómo se creó el circuito integrado PIUVR? es producto de la investigación sobre el índice de radiación ultravioleta (IUV) realizada durante varios años para la ciudad de Riobamba. El primer capítulo presenta el fundamento científico mediante el cual se cuantifica el índice de radiación ultravioleta y se indica el peligro que representa esta radiación sobre el cuerpo humano, haciendo énfasis en el cáncer de piel.

En el segundo capítulo se desarrolla el modelo matemático del IUV para Riobamba. En el tercer capítulo se calcula el modelo matemático del IUV mediante un microcontrolador basado en el Arduino Mega 2560. En el cuarto capítulo se evalúa la capacidad del arduino para realizar cálculos matemáticos y a partir de ahí establecer las características tecnológicas del circuito integrado que se va a crear. En el capítulo quinto se crea el circuito integrado que predice el IUV y finalmente en el capítulo seis se describe los lugares en donde se instalaron las estaciones de IUV dentro de Riobamba.

Wilson Oswaldo Baldeón López es ingeniero electrónico graduado en la Escuela Superior Politécnica del Litoral, es máster en Informática graduado con distinción máxima en Chile, es máster en Diseño de Sistemas Electrónicos por la Universidad Tecnológica de la Habana, es magíster en Gestión Académica Universitaria, tiene un Diplomado Superior en Pedagogía Universitaria y es Experto en Procesos *E-Learning*.

Es miembro fundador del grupo de investigación GITCE, sus intereses de investigación son los sistemas digitales, el modelamiento y predicción del IUV. Ha publicado varios libros sobre VHDL y sistemas digitales, diversos textos básicos y varios artículos en revistas científicas, ha participado como ponente en simposios científicos nacionales e internacionales y ha ganado varios premios.

Es docente titular en la Facultad de Informática y Electrónica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). Se desempeñó como autoridad académica y profesor titular en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH). Fue ingeniero de Diseño Digital en ELECSA. Ha sido representante por Ecuador en la: *International Association of Educators for World Peace* (IAEWP) y es miembro de la Asociación Mundial de Tutores Virtuales ATM.

ISBN: 978-9942-44-266-6

