

IMPLEMENTACIÓN DE REDES NEURONALES EN UN SISTEMA DE PREDICCIÓN CLIMÁTICA

PRESENTADO POR: BRIZGINA DAZA GARCÍA

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BOGOTÁ D.C. 2014

IMPLEMENTACIÓN DE REDES NEURONALES EN UN SISTEMA DE PREDICCIÓN CLIMÁTICA

PRESENTADO POR: BRIZGINA DAZA GARCÍA

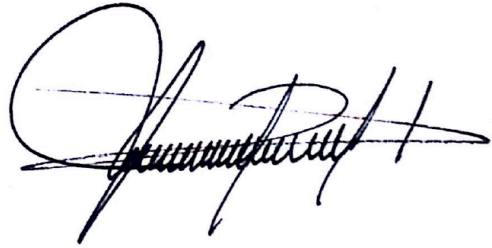
MONOGRAFÍA DE TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO MECATRÓNICO

DIRIGIDO POR: RUBEN DARÍO HERNÁNDEZ

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BOGOTÁ D.C. 2014

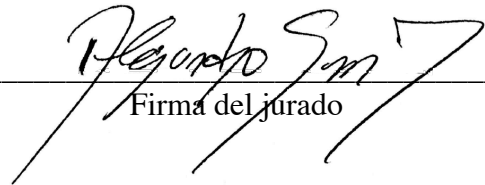
Nota de aceptación:

El trabajo de grado, titulado **“IMPLEMENTACIÓN DE REDES NEURONALES EN UN SISTEMA DE PREDICCIÓN CLIMÁTICA”** elaborado y presentado por la estudiante **BRIZGINA DAZA GARCÍA**, como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecatrónico, fue aprobado por el Jurado Calificador



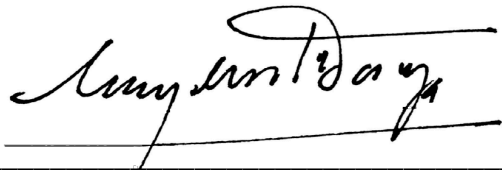
---

Firma del presidente del jurado



---

Firma del jurado



---

Firma del jurado

Bogotá D.C. 30 de Enero de 2015

## DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mis padres, Idaly García y Abel Antonio Daza, los cuales siempre estuvieron dándome fortaleza para culminar esta etapa en mi vida y empezar una nueva. También aquellos que durante este proceso de pregrado me enseñaron poco a poco, me formaron como persona, profesional y estudiante, como mis profesores, compañeros y amigos, que a pesar de los desacuerdos siempre me brindaron su apoyo, compartieron más que sus tristezas y alegrías, me dieron la oportunidad de ser partícipe en sus triunfos y es por eso que ahora yo los hago partícipes de los míos, pues gracias a ellos he podido finalizar esta etapa tan maravillosa.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecerle al Ingeniero Rubén Darío Hernández, quien desde el inicio de este proyecto me estuvo asesorando con gran paciencia, quien dedicó varias horas, busco oportunidades para alcanzar todos las metas propuestas al inicio del proyecto y que aún cuando yo quise desistir él siempre estuvo apoyándome, realizándome observaciones y críticas significativas para mi crecimiento como profesional, motivándome día a día con su gran empeño y amor a su carrera como docente, Ingeniero Mecatrónico y gran investigador, quien se volvió un ejemplo a seguir de muchos estudiantes, incluyéndome.

También le agradezco a mi gran amigo Sebastián Villamizar que siempre estuvo apoyándome en mis decisiones, quien soportó cada una de mis tristezas y me ayudó a salir adelante con cada proyecto propuesto, en especial con este, pues con todos sus medios, cubrió mis falencias. Una persona con la que siempre pude contar como apoyo, quien sin importar lo mucho o poco que supiera me brindaba todo su saber, él siempre logró sacarme sonrisas en medio del malgenio, la tristeza, la desesperación que podría llevarme el día a día.

Por supuesto también agradecerle a mi madre y padre por el apoyo financiero, su compañía y consejos; a María Panadero, Juan Pablo Rojas, Camilo Acevedo, entre otros amigos más, que sin deber alguno me apoyaron cuando fue necesario, en el momento preciso.

# Índice general

<b>1. ASPECTOS GENERALES</b>	<b>10</b>
1.1. Introducción . . . . .	10
1.2. Antecedentes . . . . .	10
1.2.1. Colombia Frente al Cambio Climático . . . . .	10
1.2.2. Usos de los Sistemas de Predicción con Redes Neuronales . . . . .	12
1.3. Planteamiento del Problema . . . . .	12
1.3.1. Descripción del Problema . . . . .	12
1.3.2. Formulación del Problema . . . . .	13
1.4. Justificación . . . . .	13
1.5. Objetivos . . . . .	13
1.5.1. Objetivo General . . . . .	13
1.5.2. Objetivos Específicos . . . . .	13
1.6. Alcances y Limitaciones . . . . .	14
1.7. Línea de Investigación del Programa . . . . .	14
1.8. Diseño metodológico . . . . .	14
<b>2. MARCO REFERENCIAL</b>	<b>16</b>
2.1. Generalidades . . . . .	16
2.2. Marco Teórico . . . . .	16
2.2.1. Meteorología . . . . .	16
2.2.2. Cambio Climático . . . . .	16
2.2.3. Redes Inteligentes . . . . .	17
2.3. Marco Técnico . . . . .	20
2.3.1. Generalidades de la Meteorología . . . . .	20
2.3.1.1. La Temperatura y la Radiación Solar . . . . .	20
2.3.1.2. La Presión Atmosférica . . . . .	22
2.3.1.3. El Viento . . . . .	23
2.3.1.4. La Humedad . . . . .	26
2.3.1.5. La Precipitación . . . . .	27
2.3.2. Redes Neuronales . . . . .	28
2.3.2.1. Arquitectura de una Red Neuronal . . . . .	30
2.3.2.2. Función de activación de una Red Neuronal . . . . .	31
2.3.2.3. Entrenamiento de una Red Neuronal Artificial . . . . .	32
2.3.2.4. Precision- Recall . . . . .	33
2.3.2.5. El Perceptrón de una capa . . . . .	33
2.3.2.6. El Perceptrón Multicapa . . . . .	34
2.4. Marco Legal . . . . .	35
2.4.1. Ley 99 de 1993 [11] . . . . .	35
2.4.2. Ley 164 de 1994 [12] . . . . .	36
2.4.3. Ley 629 de 2000 [13] . . . . .	37
2.4.4. Ley 697 de 2001 [14] . . . . .	37
2.4.5. Ley 1715 de 2014[15] . . . . .	38

<b>3. INGENIERÍA DEL PROYECTO</b>	<b>39</b>
3.1. Generalidades . . . . .	39
3.2. Diseño del Sistema . . . . .	39
3.2.1. Sistema Local . . . . .	41
3.2.1.1. Módulo de Temperatura & Módulo de Humedad . . . . .	42
3.2.1.2. Módulo de Radiacion Solar . . . . .	43
3.2.1.3. Módulo de Velocidad del Viento . . . . .	43
3.2.1.4. Módulo de Precipitación . . . . .	45
3.2.1.5. Módulo de Procesamiento . . . . .	46
3.2.2. Sistema Remoto . . . . .	46
3.2.2.1. Módulo de Comunicación . . . . .	47
3.2.2.2. Módulo de Análisis y Predicción . . . . .	47
<b>4. RESULTADOS, CONCLUSIONES E IMPACTOS</b>	<b>51</b>
4.1. Generalidades . . . . .	51
4.2. Resultados . . . . .	51
4.2.1. Datos Meteorológicos . . . . .	51
4.2.2. Análisis de los Resutados . . . . .	51
4.3. Conclusiones . . . . .	60
4.4. Trabajos Futuros . . . . .	61
<b>Bibliografía</b>	<b>61</b>

# Índice de figuras

1.1. Esquema metodológico. . . . .	15
2.1. Sistemas de energía eléctrica tradicional (a) y sistema de energía eléctrica implementando redes Smart (b). . . . .	18
2.2. Esquema de las Smart Grids en Colombia. . . . .	19
2.3. Espectro electromagnético . . . . .	21
2.4. Balance radiativo del sistema tierra atmósfera. . . . .	22
2.5. Perfil vertical de la presión atmosférica . . . . .	23
2.6. Esquema de manzana, flujos de vientos y su posible comportamiento con respecto a las perturbaciones . . . . .	24
2.7. La presión de vapor saturado en función de la temperatura, bajo la ecuación de Clausius-Clapeyron de presión de vapor.. . . .	26
2.8. Red neuronal biológica . . . . .	29
2.9. Red neuronal artificial. . . . .	30
2.10. Función de activación lineal. . . . .	31
2.11. Función de activación sigmoidea. . . . .	32
2.12. Función de activación tangente hiperbólica. . . . .	32
2.13. Modelo neuronal de una capa. . . . .	34
2.14. Modelo de una red neuronal multicapa. . . . .	35
3.1. Esquema de flujo de datos. . . . .	39
3.2. Ingeniería del proyecto A) Sistema Local B) Sistema Remoto. . . . .	40
3.3. Primera versión del prototipo. . . . .	41
3.4. Voltaje Mínimo de Alimentación Vs. Temperatura . . . . .	42
3.5. Protocolo de comunicación de bus único . . . . .	43
3.6. Anemómetro de hilo caliente . . . . .	45
3.7. Componentes que conforman el Modulo de Precipitación A) Módulo YL-83 B) Módulo HL-69 C) Acondicionador de señal. . . . .	46
3.8. Evolución del Error en la RNA . . . . .	49
3.9. Código implementado para la RNA. . . . .	49
4.1. Distribución de entrenamiento. . . . .	54
4.2. Entrenamiento de la red . . . . .	54
4.3. Clasificación datos de entrenamiento. . . . .	55
4.4. Sistema de clasificación de la red neuronal . . . . .	57
4.5. Test de validación del entrenamiento de la RNA. . . . .	58
4.6. Relación del error y aprendizaje de la RNA . . . . .	59
4.7. Confiabilidad del entrenamiento de la RNA. . . . .	60

# Índice de cuadros

1.1. Tipos de estaciones que conforman la red del Ideam . . . . .	11
2.1. Capas generales del modelo Smart Grids. . . . .	19
2.2. Clasificación de la velocidad de los vientos[51, 2] . . . . .	25
3.1. Tipos de Anemómetros [6][34][36]. . . . .	44
3.2. Especificaciones de la comunicación . . . . .	47
4.1. Posible comportamiento del clima. . . . .	52
4.2. Salida de la red. . . . .	52
4.3. Datos de entrenamiento . . . . .	53
4.4. Datos de Validación. . . . .	56

# Capítulo 1

## ASPECTOS GENERALES

### 1.1. Introducción

Los diversos impactos negativos así como los patrones de consumo de los recursos naturales que realiza el hombre provocaron una problemática ambiental a nivel mundial, por lo tanto grandes potencias han determinado que es necesario empezar a contemplar diversas soluciones que empiecen a mitigar los cambios climáticos y los efectos de éste sobre el planeta. Siendo éste uno de los principales objetivos, el contribuir con la mitigación de los efectos de la contaminación ambiental, se realizan diversas investigaciones desde diferentes ámbitos en pro de contribuir a este propósito.

El presente documento muestra el desarrollo de un sistema de recolección de datos meteorológicos, con el cual se podrá obtener una aproximación sobre los futuros cambios en el clima a mediano y largo plazo.

### 1.2. Antecedentes

#### 1.2.1. Colombia Frente al Cambio Climático

El cambio climático se ha convertido en uno de los temas más nombrados en los últimos años, ya que es uno de los mayores desafíos que la humanidad debe afrontar. Por lo que en Colombia y en el mundo se ha iniciado ya hace algunos años el desarrollo de políticas y cánones que estimulen la creación de conciencia social respecto a problemáticas del medio ambiente, donde uno de los principales tratados que se a conformado fue el Protocolo de Kyoto adoptado en diciembre de 1997 y ratificado por la UE en abril del 2002, considerado como uno de los instrumentos jurídicos internacionales más importantes destinado a luchar contra el cambio climático [21].

La principal problemática ambiental es la emisión de  $CO_2$ , en donde la producción y el uso de la energía supone la principal causa junto con el transporte; este hecho se demuestra con el aumento en el consumo de energía eléctrica demostrado por la EPM, donde una persona promedio usa 38kWh (Kilovatios hora mes) y según estudios de la empresa XM, filial de la estatal Interconexión Eléctrica S. A (ISA), entre julio de 2011 y junio de 2012 la demanda de energía eléctrica creció 3,1 %, mientras que en los primeros seis meses de 2012 registró un crecimiento de 2,7 % [Anonimo2012], en otras palabras la demanda de producción de petróleo como materia prima incrementa junto con la contaminación que este proceso trae. Por lo que una de las formas de mitigar las consecuencias y de disminuir la demanda de este tipo de energía son las tecnologías Smart Grids que se han empezado a incorporar en el sistema de potencia colombiano, contribuyendo a la disminución de contaminación ambiental y obteniendo el mayor provecho de los recursos energéticos disponibles.

En Colombia se realizó una propuesta de trabajo, considerando las ventajas que estas redes desarrollan para el sistema de potencia y ahorro energético, conformado por pequeños sistemas de potencia conectados a un sistema principal, interrelacionado con todo el país. Se realizaron varias propuestas de incorporación de las redes Smart, entre las más relevantes la construcción de parques de generación eólica y solar en la Guajira, mientras en Antioquia se consideró la generación hidráulica, así como el potencial de generación solar en los hogares por medio de paneles solares en los techos y otros métodos de ahorro o producción de energía [Diaz&Gonzales2011]. Donde estos sistemas de producción energética se dan como un flujo de

potencia bidireccional, es decir que un usuario no solo será consumidor, sino que también podrá ser generador de electricidad e incluso entregar la energía excedente al sistema.

Otra forma de contribuir con la mitigación de los severos cambios climáticos, es siendo consciente de las eventualidades futuras que este puede producir, por ejemplo si se logra predecir una oleada de lluvias para un periodo determinado, puede advertirse a la población y esta tomar acciones preventivas en caso de inundaciones, también por ejemplo en el caso del sector agrario, si se pronostica una oleada de calor, estos pueden implementar un programa de riego más continuo evitando el daño de cultivos.

Desde años atrás los sistemas de predicción meteorológica mas implementados en Colombia y en el mundo son los satélites, ya sean de órbita media, baja o los geoestacionarios, también se han implementado estaciones automáticas, aeronaves, buques meteorológicos, boyas de datos oceánicos, radares meteorológicos, estaciones de observación en la altitud y estaciones de superficie. En Colombia se encuentran 1175 estaciones pluviométricas, 141 estaciones pluviográficas, 496 estaciones climatológicas y 202 estaciones automáticas [22].

En Colombia el principal centro de estudios relacionados con los cambios climáticos es el IDEAM (Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales), esta entidad tiene como misión básica la generación de información sobre el estado de los recursos naturales y las condiciones hidrometeorológicas del país [8]. El instituto cuenta con 10 tipos de estaciones meteorológicas (ver cuadro1.1).

Cuadro 1.1: Tipos de estaciones que conforman la red del Ideam

Tipo de estación	Descripción	Cantidad de estaciones
Pluviométrica (PM)	Dotado con un pluviómetro que permite medir la cantidad de lluvia caída en 24 horas	1348
Pluviografica (PG)	Registra en un grafica la precipitación, por lo que permite conocer la cantidad, duración, intensidad y periodo en que ocurrió.	
Climatológica Principal (CP)	Se realizan observaciones de precipitación, temperatura y humedad del aire, viento, radiación, evaporación y fenómenos especiales. Realizando 3 observaciones diarias a la 7h, 13h y 19h.	501
Climatológica Ordinaria (CO)	Tiene al menos un pluviómetro, un pluviógrafo, y un psicrómetro. Realiza 3 observaciones diarias a la 7h, 13h y 19h.	
Sinóptica Principal (SP) y suplementaria (SS)	Se efectúan observaciones de los principales elementos meteorológicos en horas convenidas internacionalmente. Los datos corresponden a nubosidad, dirección y velocidad del viento, visibilidad, fenómenos especiales, humedad, precipitación, temperaturas extremas y secuencias de los fenómenos atmosféricos.	28
Agro-meteorológica (AM)	Se realizan observaciones que ayudan a determinar las relaciones entre el tiempo y clima, y el desarrollo de cultivos agrícolas y animales.	63
Radiosonda (RS)	Realiza observaciones de temperatura, presión, humedad y viento en las capas altas de la atmosfera (troposfera y baja estratosfera) mediante el rastreo por medio de radares.	4
Meteorológica Espacial	Tiene como finalidad la observación de un fenómeno en particular; el IDEAM la usa específicamente para observación de heladas	30
Automáticas	Con capacidad de obtener daos mediante sensores y con trasmisión en tiempo real mediante telemetría satelital GEOS al centro de recepción del IDEAM.	241

Fuente: Informe de consultoría: GESTIÓN DE INFORMACIÓN AGROCLIMÁTICA EN COLOMBIA [8].

En el país también se encuentran Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible (CAR), las cuales son entidades de carácter público, integradas por los entes territoriales que conforman una unidad geopolítica, biogeográfica o hidrogeográfica. Existen 26 CAR y algunas de ellas para un mejor desarrollo de sus actividades, manejan programas propios de meteorología a través de sistemas de monitoreo y gestión de datos.

También existen otras empresas del sector privado interesados en el comportamiento climático como los gremios de productores agropecuarios, entre los que se encuentra el Centro Nacional de Investigaciones del Cultivo del Café (CENICAFE), el Centro Nacional de Investigaciones del Cultivo de la Caña (CENICANÑA), el Centro de Innovación Tecnológica del Sector Floricultor (CENIFLORES), la Federación de Arroz (FE-DEARROZ) y la Corporación de Investigaciones Agropecuarias de Colombia (CORPOICA) [8].

Pero para tener información de alguna de estas entidades es necesario estar suscritos y en algunos casos no cumplen con la cobertura requerida, por lo que la finalidad de este trabajo de investigación es diseñar un sistema de medición de bajo costo, para el estudio del comportamiento del clima, siendo Bogotá el punto de inicio del estudio para verificar si la caracterización del sistema es correcta y con ello ver la posibilidad de que este pueda ser utilizado en diversas regiones del país.

### 1.2.2. Usos de los Sistemas de Predicción con Redes Neuronales

Las redes neuronales artificiales hoy día presentan aplicaciones en diferentes campos de la ciencia y la ingeniería. Mediante una breve revisión del estado del arte en estos campos, se encuentran múltiples soluciones; es así como en el ámbito de la ciencia botánica se han desarrollado aplicativos como el presentado en [50], en el cual se implementó un sistema de reconocimiento de plantas basado en entrenamiento de redes neuronales, a fin de apoyar a los investigadores botánicos en la clasificación de especímenes. En el ámbito de la robótica, en [18] se utiliza un entrenamiento neuronal para dar la capacidad a un androide de reconocer patrones y percepciones como lo hace un humano, como base para emular aspectos de las funciones cerebrales. En el campo de la psicología, en [9, 40] se desarrolla un sistema de reconocimiento de emociones humanas basado en el entrenamiento neuronal de los datos obtenidos a partir de señales de electroencefalografía.

En el campo de la medicina, en [9, 40, 16] se presenta el entrenamiento de una red neuronal artificial para pronosticar una evaluación respecto a las posibles complicaciones de una post cirugía de corazón, de igual forma otras aplicaciones en esta área utilizan redes neuronales para encontrar patrones como los de las células cancerígenas, al analizar una imagen de una posible zona afectada. En el ámbito de la aplicación a ciudades inteligentes, en [9, 40, 16, 42] se presenta el entrenamiento de una red neuronal para un modelo de predicción de velocidad en el flujo del tráfico vehicular basado en datos históricos, lo cual da lugar a establecer cambios en los tiempos y prelación del uso de las vías.

En el campo de la electrónica tradicional en [45] se presentan el uso de redes neuronales para la linealización de sensores y en [46] para el diseño de osciladores. Y puntualmente en el campo industrial se encuentran aplicaciones para manipulación de robots en procesos de producción como los presentados en [27], y [47, 53] en este campo [47, 53, 29], presenta varios casos en el que el entrenamiento neuronal es utilizado.

## 1.3. Planteamiento del Problema

### 1.3.1. Descripción del Problema

En la actualidad el cambio climático es uno de los mayores desafíos que la humanidad debe afrontar. Los impactos climáticos son diversos y complejos y deben tenerse en cuenta a conciencia dentro de los procesos de desarrollo; de forma que, no existe duda que el cambio climático es un hecho que afecta hoy al planeta y que aún de manera inmediata se toman las medidas necesarias para reducir al máximo las emisiones de gases de efecto invernadero, las consecuencias de las temporadas invernales, fuertes nevadas y/o las temperaturas extremas, que aún siguen en aumento y sus consecuencias son cada vez más traumáticas. Es por eso que se plantea el análisis de los usos más eficientes de las TICs para observar, predecir y mejorar la gestión del riesgo climático global de los efectos por los desastres naturales en Colombia y contribuir al desarrollo sostenible del país, proponiendo modelos que puedan ser aplicables en diferentes países. Partiendo desde la adquisición y análisis de los datos de los sistemas meteorológicos propuestos y existentes, para posteriormente procesar la información con algoritmos de predicción basados en redes neuronales, con el objetivo de caracterizar

los comportamientos del cambio climático. Con la caracterización de la información se obtienen modelos aplicables para la gestión de riesgo en regiones con alto índice de susceptibilidad y posible afectación debido a inundaciones, sequías, entre otros, permitiendo una propuesta de desarrollo rural y regional facilitando la mitigación de los efectos generados por el cambio climático.

### 1.3.2. Formulación del Problema

Teniendo en cuenta la necesidad de analizar y estudiar los efectos del cambio climático para tomar medidas correctivas e implementar políticas que permitan preservar el medio ambiente, cómo la evaluación y predicción del cambio climático en un área determinada, aplicando la Ingeniería Mecatrónica con el uso de los sistemas TIC?

## 1.4. Justificación

El consumo desmedido de los recursos naturales que se ha venido presentando en los últimos años, ha provocado un deterioro sobre la naturaleza, donde sus consecuencias se han vuelto cada día más notables, sobre todo en los cambios climáticos, en los que se han venido presentando cambios repentinos y extremos, los cuales han afectado a la población mundial. Por lo tanto las grandes potencias han venido contemplando diversos proyectos y leyes para la mitigación de los efectos del cambio climático. Los impactos climáticos son diversos y complejos y deben tenerse en cuenta a conciencia dentro de los procesos de desarrollo; de forma que, no existe duda que el cambio climático es un hecho que afecta hoy al planeta y que aún de manera inmediata se toman medidas necesarias para reducir al máximo las emisiones de gases de efecto invernadero, las temporadas invernales, fuertes nevadas y/o las temperaturas extremas, que aún siguen en aumento y sus consecuencias que son cada vez más traumáticas. Por lo que se plantea el análisis de los usos más eficientes de las TICs para observar, predecir y mejorar la gestión del riesgo climático global de los efectos por los desastres naturales en Colombia y contribuir al desarrollo sostenible del país, proponiendo modelos que puedan ser aplicables en diferentes países. Partiendo desde la adquisición y análisis de los datos de los sistemas meteorológicos propuestos y existentes, para posteriormente procesar la información con algoritmos de predicción, con el objetivo de caracterizar los comportamientos del cambio climático. Con la caracterización de la información se obtienen modelos aplicables para la gestión de riesgo en regiones con alto índice de susceptibilidad y posible afectación debido a inundaciones, sequías, entre otros, permitiendo una propuesta de desarrollo rural y regional, dando lugar a la mitigación de los efectos generados por el cambio climático.

## 1.5. Objetivos

### 1.5.1. Objetivo General

Realizar una infraestructura para el registro automatizado del clima, para así poder efectuar predicciones aproximadas sobre el futuro comportamiento climático en una zona previamente seleccionada y lograr ofrecer información meteorológica en tiempo real a los residentes de la zona, para que con ello se puedan tomar decisiones de protección ante el clima adverso.

### 1.5.2. Objetivos Específicos

- Desarrollar un estudio detallado de los sistemas electrónicos utilizados para el análisis, predicción y almacenar los comportamientos de información de los cambios climáticos.
- Realizar una investigación detallada sobre los tipos de sensores que puedan ser utilizados para la captura de datos de acuerdo a los cambios climáticos, identificando las diferencias entre la variedad de sensores, sus características principales, para determinar los sensores que posean una mayor eficacia para el proyecto.

- Realizar un sistema mecánico de la estructura para la captura de los datos de algunos de los factores ambientales y que tenga compatibilidad con el diseño electrónico que complementara el registro del resto de cambios climáticos, para así continuar con el diseño de un software fácil de implementar para la etapa de predicción meteorológica.
- Elaborar una base de datos, con el fin de caracterizar el clima en la zona urbana preseleccionada, realizando un monitoreo de registros meteorológicos en tiempo real y en forma sistematizada.
- Diseñar un algoritmo de predicción meteorológica basado en la caracterización y los estudios previos de la zona urbana determinada.

## 1.6. Alcances y Limitaciones

La finalidad de este proyecto es obtener una base de datos sobre el cambio climático actual y con ello lograr predicciones aproximadas de los cambios a corto, medio y largo plazo, para así lograr crear medidas de adaptación en la región, por lo que se propone implementar como una medida de prevención ante desastres meteorológicos imprevistos como el ocurrido en 2010, año en el cual se inundó gran parte de la sabana y parte de las costas colombianas. Además, el sistema meteorológico es simple y de fácil implementación, es decir de bajo costo pero de alta fiabilidad, permitiendo ser accesible a poblaciones rurales.

## 1.7. Línea de Investigación del Programa

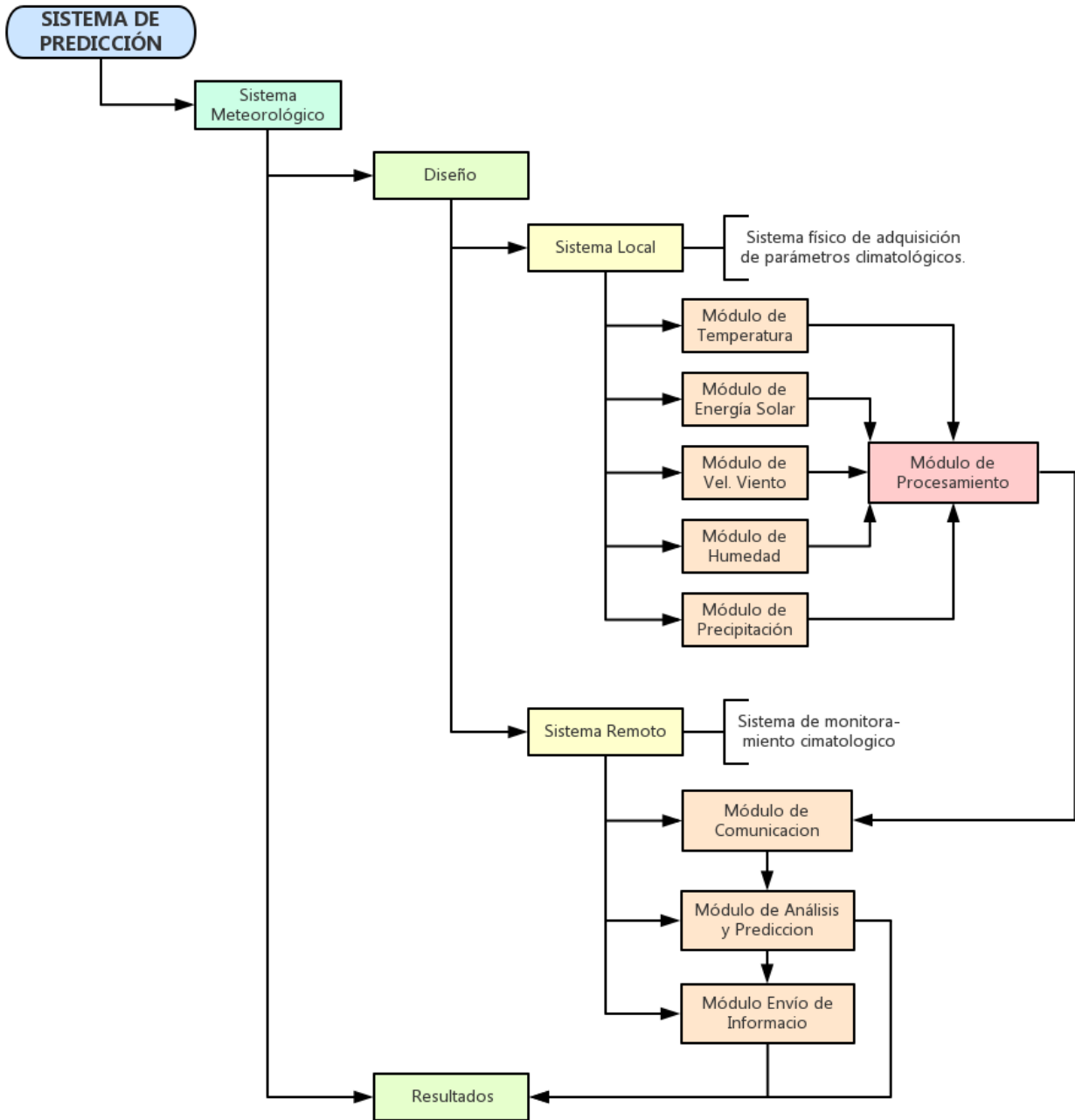
El presente documento se desarrolló bajo tres líneas de investigación del programa de la facultad de ingeniería mecatrónica de la Universidad Piloto de Colombia, Energías Renovables, Automatización y Domótica, además este se trabajó en conjunto con el programa de Telecomunicaciones, bajo el macro-proyecto de “Las TIC y el Cambio Climático”.

Debido a que este proyecto está conformado por un diseño electrónico, un sistema de predicción y una base de datos, puede afirmarse que es el resultado de una sinergia que compone a la ingeniería mecatrónica.

## 1.8. Diseño metodológico

Para concluir con el proyecto propuesto se optó por implementar una investigación tecnológica, valiéndose de una metodología científica, ya que se comenzó realizando una investigación básica en la que se obtuvo el conocimiento esencial para tener una mejor visión del problema a resolver, se continuó con una investigación aplicada en la cual se determinó el tipo de sensores para el sistema electrónico y también el algoritmo matemático a implementar para el análisis de los datos. En general la figura 1.1 muestra el sistema planteado al que se llegó en este trabajo.

Figura 1.1: Esquema metodológico.



Fuente: propia del autor.

# Capítulo 2

## MARCO REFERENCIAL

### 2.1. Generalidades

En este capítulo se presenta el marco referencial que se necesita para el desarrollo del proyecto propuesto. A continuación se observa el marco teórico en el que encontrará algunas definiciones generales e importantes, que son consideradas las bases del proyecto. Continuamente se observará el marco técnico, en el cual encontrará mas información detallada para este propósito, con el fin de fortalecer y sustentar la información anterior. Y finalmente hallará el marco legal, el cual contiene las leyes que protegen, apoyan y fomentan este tipo de proyectos.

### 2.2. Marco Teórico

#### 2.2.1. Meteorología

La meteorología es la ciencia que estudia las alteraciones atmosféricas, sus propiedades, la relación con el tiempo atmosférico y la superficie de la tierra y el mar. El estudio de la atmósfera se basa en el conocimiento de una serie de variables meteorológicas, como la temperatura, la presión atmosférica, la humedad, entre otras, las cuales varían tanto en el espacio como en el tiempo [43].

Algunas personas creen que cuando se habla de tiempo atmosférico hace referencia al mismo clima, pero esto es una gran equivocación, ya que hablar del tiempo hace referencia a la descripción de las condiciones atmosféricas en un momento y lugar específico, mientras que el clima de la misma forma realiza una valoración promedio de las variables atmosféricas, pero considerando períodos de tiempo de decenas de años, por lo tanto el clima es la síntesis del tiempo [44].

Los meteorólogos son capaces de predecir el tiempo hasta con una semana de antelación sin apenas fallar, hoy en día, para esto se hace uso de sistemas meteorológicos los cuales son capaces de detectar las variables del tiempo atmosférico, las cuales contribuyen de gran manera en el estudio del clima, debido a que estos sistemas poseen una base de datos en la cual se registra la variación de las magnitudes atmosféricas, por lo que con ello se puede realizar pronósticos del tiempo y de la misma forma elaborar climogramas que contribuyan con el estudio climatológico de la región.

Las variables meteorológicas fundamentales para el estudio atmosférico son la temperatura, la presión atmosférica, el viento, la radiación solar, la humedad y la precipitación.

#### 2.2.2. Cambio Climático

Para empezar a hablar de "cambio climático" y algunos aspectos importantes que lo atribuyen, es importante antes que nada definirlo, por lo que algunos autores lo consideran como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables[12].

En la ultima década el tema del cambio climático se ha convertido en uno de los temas más nombrados en los últimos años, ya que es el mayor desafío que la humanidad debe afrontar. Es por eso que temas que

ayuden a contribuir con la mitigación de los efectos cambios climáticos se han tornado de vital importancia para la subsistencia del ecosistema.

La concentración de gases en una parte de la atmosfera, tales como dióxido de carbono, oxido nitroso y el metano, son aquellos que retienen el calor del Sol en la atmosfera terrestre y lo cual se conoce como “efecto invernadero”. Sin ellos no sería posible la vida en la Tierra, ya que el planeta sería extremadamente frio, evitando la existencia de algún ser vivo. Pero el mundo industrializado ha conseguido que la concentración de estos gases haya aumentado un 30 % desde el siglo pasado, cuando, sin la intervención humana, la naturaleza se encargaba de equilibrar las emisiones, por lo que no se generaban efectos adversos del cambio climático.

Se creó que conforme se haga más intenso, el cambio climático se hará más evidente sobre fenómenos naturales y actividades humanas. Entre estos las migraciones, los huracanes, los glaciares, la biodiversidad o las inundaciones de zonas costeras.

En cuanto a la biodiversidad, la comunidad científica cree que un aumento constante de las temperaturas puede llevar a una masiva extinción de muchas especies. Mientras el aumento de inundaciones se verá mas marcado en varias partes del planeta.

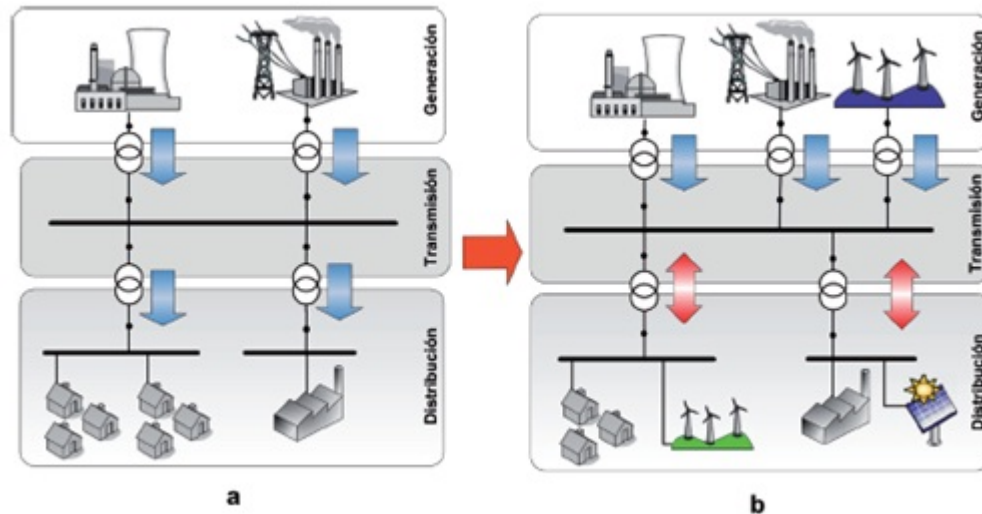
Una de las razones por las que el sistema ecológico no será capaz de contrarrestar o suavizar los desastres climáticos, es la existencia y el continuo crecimiento de la concentración de dióxido de carbono, el cual reduce la capacidad de las plantas de absorber agua del suelo y de expulsar el exceso de la misma.

### 2.2.3. Redes Inteligentes

En Colombia y en el mundo se ha iniciado ya hace algunos años el desarrollo de políticas y cánones que estimulen la creación de conciencia social respecto a problemáticas del medio ambiente, principalmente con la emisión de  $CO_2$ , en donde la producción y el uso de la energía supone la principal causa junto con el transporte; este hecho se demuestra con el aumento en el consumo de energía eléctrica demostrado por la EPM, donde una persona promedio usa 38kWh (Kilovatios hora mes) y según estudios de la empresa XM, filial de la estatal Interconexión Eléctrica S.A (ISA), entre julio de 2011 y junio de 2012 la demanda de energía eléctrica creció 3,1 %, mientras que en los primeros seis meses de 2012 registró un crecimiento de 2,7% [3]. Por lo que las tecnologías Smart Grids se han empezado a incorporar en el sistema de potencia colombiano, contribuyendo a la disminución de contaminación ambiental y obteniendo el mayor provecho de los recursos energéticos disponibles.

Hoy en día las fuentes renovables de energía son de alta aplicabilidad en el mundo como la generación eólica y solar, es por ello que las Smart Grids les permite a las energías renovables participar de forma activa en la generación de electricidad (ver Figura 2.1), aun cuando la demanda sea poca la energía es almacenada para los momentos de mayor consumo, pero la energía eléctrica no se puede almacenar en grandes cantidades, lo que implica que su producción y consumo deben ser iguales en todo momento, por lo tanto debe existir un equilibrio constante de la producción con la demanda, para ello se debe tener centros de control que monitorizan en tiempo real el estado de la red eléctrica y sus parámetros eléctricos a través de una red de telecomunicaciones [23]. Es por ello que el concepto general de las redes Smart hacen referencia a una red de energía avanzada.

Figura 2.1: Sistemas de energía eléctrica tradicional (a) y sistema de energía eléctrica implementando redes Smart (b).



Fuente: Smart Grid: Las TICs y la modernización de las redes de energía eléctrica- Estado del Arte [23].

Algunos métodos de almacenamiento que se proponen en las Smart Grids es la implementación de baterías, pero también se tuvo en cuenta el almacenamiento con aire comprimido, los volantes de inercia, los súper-condensadores y los métodos de almacenamiento de energía solar. Una de las ideas de energía solar termoeléctrica es el almacenamiento de la energía solar, donde se funden sales por medio de una torre recolectora de calor; permitiendo así el abastecimiento de energía cuando el sol se haya ocultado [24].

En Colombia se realizó una propuesta de trabajo para, considerando las ventajas que estas redes desarrollan para el sistema de potencia y ahorro energético, conformado por pequeños sistemas de potencia conectados a un sistema principal, interrelacionado con todo el país, como se observa en la figura 2.2. Se realizaron varias propuestas de incorporación de las redes Smart, entre las más relevantes la construcción de parques de generación eólica y solar en la Guajira, mientras en Antioquia se consideró la generación hidráulica y la solar en los hogares [24].

Figura 2.2: Esquema de las Smart Grids en Colombia.



Fuente: ESQUEMA DE INCORPORACIÓN DE LAS SMART GRIDS EN EL SISTEMA DE POTENCIA COLOMBIANO [24].

Algunos autores definen Smart Grid como una “red eléctrica que puede integrar a un coste eficiente el comportamiento y las acciones de todos los usuarios conectados a ella, como generadores, consumidores y aquellos que ejecutan ambas funciones, con el fin de asegurar un sistema eléctrico económicamente eficiente y sostenible con menores pérdidas y altos niveles de calidad y seguridad tanto del suministro como personal” [22]. Por lo tanto el principal objetivo de estas redes es facilitar las conexiones de tanto los generadores como de los sistemas electrónicos que se alimentan a ellos, de tal forma logra proporcionar a los consumidores de una mayor información de los mismos y permite dar la opción de seleccionar el suministro, por lo que contribuye significativamente con la reducción del impacto ambiental de todo el sistema de suministro eléctrico, de forma eficaz y económica.

Algunos identifican 7 capas del modelo Smart Grids, tales como: capa física, capa interfaz, capa de comunicación, capa del sistema, capa modelo, capa de análisis y capa de inteligencia[25], pero en general las capas principales son tres, la cuales contienen a las otras de forma indirecta (ver cuadro 2.1).

Cuadro 2.1: Capas generales del modelo Smart Grids.

Capas del modelo Smart Grids	
Capa de Energía	Generación de energía, transmisión, subestaciones, red de distribución y consumo de energía.
Capa de Comunicación	Red de área local (LAN), red de área amplia (WAN), red de área de campo y red de área residencial (HAN), que permiten el soporte de la infraestructura de TI.
Capa de Aplicación	Control de respuesta de demanda, facturación, control de averías, monitoreo de carga, mercados energéticos en tiempo real y nueva gama de servicios al cliente.

Las principales necesidades y desafíos tecnológicos que se deben afrontar a corto plazo para la correcta implementación de las Smart Grids es la incrementación de ancho de banda en campo, evitar las redes propietarias, definir un estándar de comunicación definitivo, fusionar electricidad-industria y contador-automatización de forma uniforme y distribuida.

Sin embargo uno de los mayores problemas a los cuales se enfrentan las redes inteligentes se relaciona con la seguridad cibernética debido al intercambio masivo de información, ya que este debe tener en cuenta la confidencialidad, integridad, disponibilidad, autenticidad, auditabilidad, protección a la duplicidad, legalidad y la fiabilidad de la información, ya que una falla en el sistema de información junto con el sistema de seguridad informática puede conllevar a la identificación de las instalaciones, los lugares más concurridos, las costumbres del personal y diversas costumbres que se adquieran con el tiempo, además de que en este tipo de redes viaja la información suministrada por los equipos directos al sistema de control, si algún dato no es fiable este sistema puede llegar a tomar decisiones perjudiciales no solo para el establecimiento, si no también para los que residen en el, debido a que este generalmente trabaja en conjunto al sistema de seguridad.

Por lo tanto el uso inadecuado de la información que se trasmite por estas redes puede provocar diferentes tipos de fallos y pérdidas, por lo que la vulnerabilidad de la red cada vez va en aumento, por lo que la Smart Grids esta introduciendo millones de nuevos componentes en los sistemas de potencia que serán esenciales para mantener el correcto desarrollo de la seguridad informática.

Algunos ingenieros afirman que “la seguridad cibernética para las Tecnologías de Información TI se concentran en la protección que se necesita para asegurar la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la información en los sistemas de comunicación, pero en las Smart Grids el asunto es más complejo debido a que la seguridad también se debe aplicar a la red y a los sistemas de comunicación de la red; en otras palabras se debe incluir un equilibrio entre las tecnologías cibernéticas del sistema, los procesos de TI y las operaciones del sistema eléctrico que garanticen su control y seguridad” [25].

Este problema se logra solucionar con la colaboración entre profesionales expertos en seguridad informática y especialistas en sistemas de potencia o equipos de suministros, y con el intercambio de conocimientos y necesidades de los sectores lograr conformar un sistema aprueba de fallos, es decir que mientras los expertos en seguridad cibernética contribuyen con el control y seguridad del sistema, los especialistas en sistemas de potencia contribuyen con el mantenimiento y confiabilidad del sistema eléctrico.

Las tecnologías que conforman las Smart Grids son las comunicaciones integradas, las tecnologías de sensores y medidas, componentes avanzados (superconductividad, almacenamiento, power electronics y diagnósticos), métodos de control avanzados y mejora en la interfaz y herramientas de toma de decisiones. Por lo tanto, para el desarrollo de estas redes los elementos más importantes son las FACTS (Flexible AC Transmission System), sistemas de alta tensión en corriente continua (HVDC), electrónicos inteligentes, Smart Meters (contadores inteligentes), redes de área doméstica y protocolos de comunicación.

Muchos de los instrumentos utilizados por las redes inteligentes son de naturaleza “modular”, evitando la construcción de grandes proyectos, por ejemplo la generación eólica y solar se puede realizar en diferentes sectores y a pequeña escala, desarrollando en conjunto gran potencia en forma dispersa. La generación distribuida es otra herramienta de carácter “modular”, la cual se puede ir desarrollando en pequeñas regiones, con la ventaja de instalarse fácilmente en muchos territorios, e ir creciendo a medida que lo hace la demanda; en comparación con una central hidroeléctrica donde es difícil realizar modificaciones de la capacidad, demostrando una vez más que las Smart Grids son elementos que se utilizarán en el futuro[24].

## 2.3. Marco Técnico

### 2.3.1. Generalidades de la Meteorología

#### 2.3.1.1. La Temperatura y la Radiación Solar

La temperatura es una de las magnitudes más utilizadas para describir el estado atmosférico, debido a que esta varía con gran frecuencia entre día y noche, entre cada estación y también dependiendo de la ubicación geográfica de la región de estudio, es por ello que en los informes del tiempo aparece una sección dedicada solo a esta.

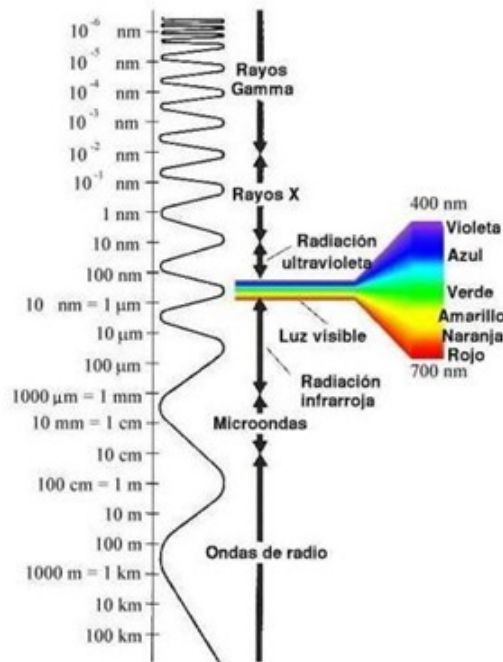
La temperatura es la designación que se da a la magnitud relacionada con la intensidad de calor, es decir la rapidez de movimiento de las partículas que constituyen la materia, por lo tanto es una medida de la energía cinética de las partículas que componen el sistema [17]. En general se tienen cinco escalas de medición, en grados Celsius, grados Fahrenheit, Kelvin, escala Ranking y escala Reaunur, siendo las tres primeras escalas mas comúnmente usadas en términos de investigación, con fines de aplicaciones físicas o experimentales, para variar de una escala a otra es común utilizar las ecuaciones 2.1 y 2.2 .

$$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5}^{\circ}\text{C} + 32 \tag{2.1}$$

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273 \tag{2.2}$$

La variación de la temperatura en términos meteorológicos se relaciona en gran parte con la cantidad de energía solar recibida, en cualquier región del planeta, en la cual ejerce influencia la variación diurna, la distribución latitudinal, variación estacional, los tipos de superficie terrestre y la variación con respecto a la altura. Siendo las diferencias de radiación solar las originarias de la variación de temperatura en cada región[48]. Por lo tanto la energía transferida por el sol a la tierra es lo que se conoce como la energía de radiación, la cual viaja a través del espacio en forma de ondas que llevan asociada una determinada cantidad de energía, según lo energética que sea esta se logra clasificar en lo que se conoce como espectro electromagnético[43], como se observa en la figura 2.3, donde las ondas emitidas por el sol están en el rango de luz visible entre los 400nm y los 700nm.

Figura 2.3: Espectro electromagnético



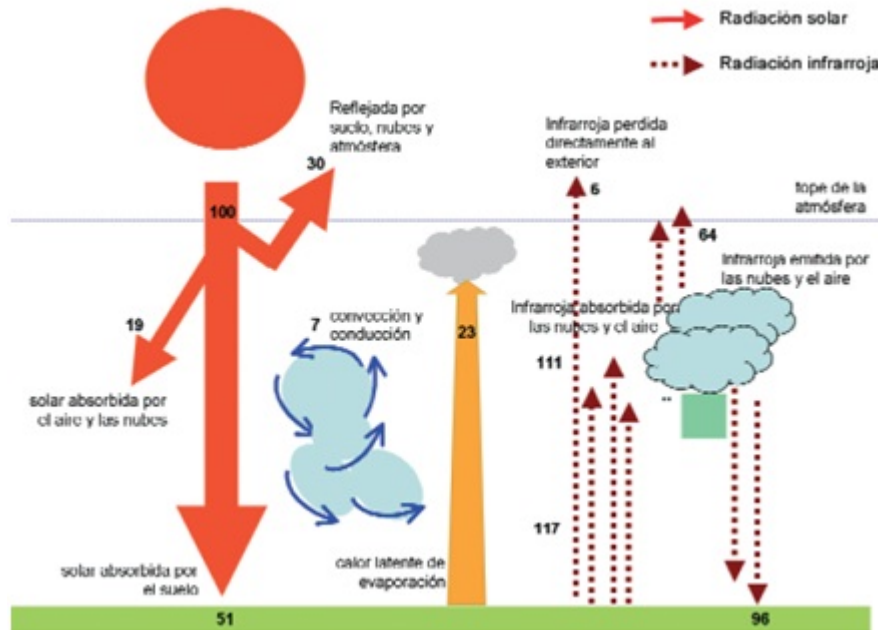
Fuente: La radiación en la vida cotidiana y laboral [26].

Todos los cuerpos emiten radiación electromagnética por el hecho de estar a una temperatura diferente de cero, por lo tanto la radiación emitida por unidad de área y por unidad de tiempo es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta según la ecuación 2.3, donde  $\epsilon$  es la constante de Stefan Boltzmann equivalente a  $5,67 \times 10^{-8} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \right]$  [30].

$$E = \epsilon T^4 \tag{2.3}$$

Es importante tener en cuenta que existe un equilibrio radiativo, ya que debido a que todos los cuerpos continuamente están emitiendo energía estos debería enfriarse paulatinamente, pero esto no es así debido a que ellos de la misma forma están absorbiendo la misma cantidad de energía, por lo que mantienen una temperatura constante; de esta forma el sistema tierra-atmósfera se producen una serie de procesos en los que se absorbe, emite y refleja energía, de manera que el balance final entre la radiación que llega de la atmósfera procedente del Sol y la que sale al espacio exterior, es cero. Es decir que la temperatura anual promedio se mantiene constante[43], en la figura se muestra un balance promedio de la energía en el sistema tierra atmosfera, de donde las 51 % de la radiación solar es absorbida por la tierra, el 19 % es absorbida por las nubes y el aire y el 30 % restante es refleja (dicho efecto se denomina como albedo) debido a la suciedad encontrada en la atmosfera, pero debido a los gases de efecto invernadero se da un exceso de energía absorbida por la tierra, en este caso son las 96 unidades mostradas en la figura 2.4.

Figura 2.4: Balance radiativo del sistema tierra atmósfera.



Fuente: METEOROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA[43]

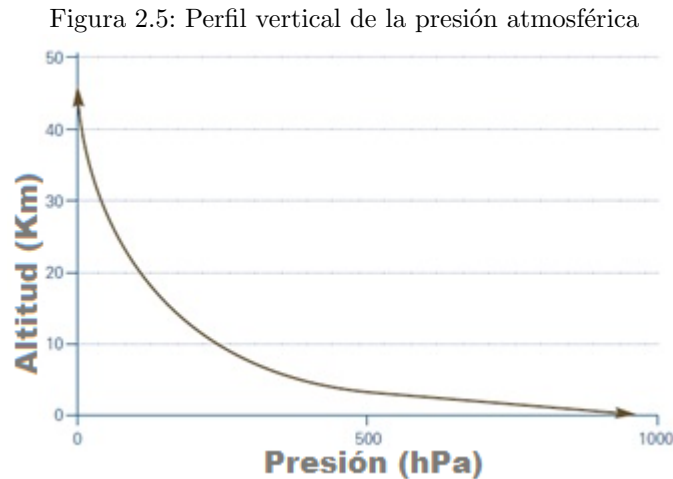
### 2.3.1.2. La Presion Atmosférica

La presión, definida como la fuerza que se ejerce sobre una unidad de área se presenta también en cuerpos tan grandes como la superficie terrestre. Millones de toneladas de aire son haladas por la fuerza gravitacional de la tierra, el peso del aire, ejercido sobre la superficie terrestre y los cuerpos que hay sobre ella, se denomina presión atmosférica, la cual es medida en Pascales ( $1\text{ Pascal} = 1\text{ N/m}^2$ ) según el sistema internacional de unidades, pero también se puede dar en hecto-pascales, atmosferas, milímetros de mercurio, milibares, la conversión entre ellas se ve en la ecuación 2.4.

$$1\text{atmosfera} = 760\text{mmHg} = 101300\text{N/m}^2(\text{ó Pa}) = 1013\text{mb}(\text{ó hPa}) \tag{2.4}$$

Aún cuando la presión atmosférica es uno de los elementos del tiempo menos notable y sus variaciones diarias en superficie no son casi perceptibles en comparación a la temperatura, la humedad o el viento, esta magnitud es una de las que posee mayor importancia en las variaciones diarias del tiempo, ya que genera los

vientos y a su vez produce las variaciones en la temperatura y humedad relativa o de precipitaciones; debido a dicha relación con otras magnitudes la presión es una de los fenómenos más importantes para el estudio atmosférico y posteriormente para un pronóstico acertado; de la misma forma la presión depende de esas y otras variables como la altitud, es decir que cuanto más arriba en la atmosfera un cuerpo este, la cantidad de aire sobre él será menor, por lo que la presión atmosférica se reducirá cuan más alto se este, en la figura 2.5 se observa el comportamiento de la presión atmosférica en función de la altura.



Fuente: CLIMATOLOGÍA [39].

### 2.3.1.3. El Viento

Otra de las variables de estudio es el viento, el cual es considerado como una corriente de aire que se produce en la atmósfera, causado por las diferencias de temperatura en las diversas zonas de la Tierra y de la atmósfera. Las masas de aire más caliente tienden a ascender, y su lugar es ocupado entonces por las masas de aire circundante, es decir las masa de aire más frías y, por tanto, más densas.

Se denomina propiamente "viento" a la corriente de aire que se desplaza en sentido horizontal, por lo que es denominada como corriente de convección a todos aquellos movimientos de aire en sentido vertical.

La dirección del viento depende de la distribución y evolución de los centros isobáricos; se desplaza de los centros de alta presión, llamados anticiclones, hacia los de baja presión, denominados depresiones, y su fuerza es tanto mayor cuanto mayor es el gradiente de presiones, por lo que habrá un potencial mayor de velocidad de vientos en zonas urbanas construidas sobre lomas y en los pisos superiores de las edificaciones [20].

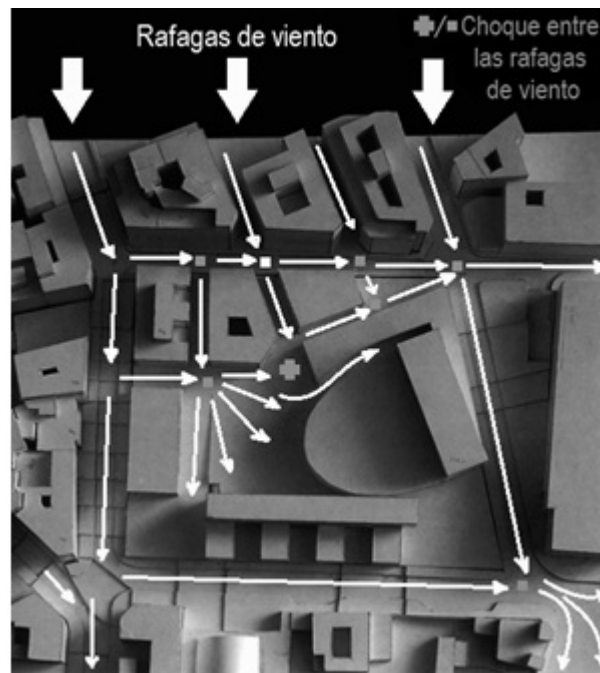
Existen varios aspectos que logran variar los parámetros de como la dirección y la velocidad de los vientos entre esos están la altitud, la rugosidad de la superficie, obstáculos naturales y superficiales, estas perturbaciones hacen que la velocidad de los vientos se reduzca, por lo que es posible decir que los vientos en zonas urbanas disminuye significativamente.

Algunos autores estan de acuerdo en que los obstáculos constituyen elementos reguladores del viento, por lo que en zonas urbanas la velocidad disminuye considerablemente, como consecuencia de la rugosidad de la superficie, dada por la topografía del terreno, la masa arbórea y las construcciones realizadas por el hombre[10].

Coexisten dos tipos de flujos que conciernen a los vientos, en los que se encuentra el flujo turbulento y el flujo laminar. Por lo general en zonas urbanas los flujos tienden a ser turbulentos en su gran mayoría, ya que hay una mayor cantidad perturbaciones como edificaciones de grandes alturas, haciendo de esta una superficie rugosa. Con diferencia a algunas zonas rurales como planicies llanas o por ejemplo el mar, donde el flujo es laminar, debido a su mínimo porcentaje de perturbaciones durante la trayectoria del mismo.

En la figura 2.6 se observa una sección de zona urbana, en la cual se puede identificar el posible comportamiento de viento, es decir su dirección y el tipo de flujo. Si se observa las flechas de gran dimensión son grandes ráfagas de vientos, que inicialmente pueden ser un flujo de aire lineal que ingresan a la zona urbana y a medida que encuentran una perturbación, el flujo envuelve dicha perturbación, pero cuando varios flujos de aire se encuentran en una misma zonas, donde cada uno posee una dirección y velocidad diferente, dan inicio a un flujo turbulento, dichas zonas de flujo turbulento son simbolizadas en la imagen con los pequeños cuadros y cruces. Es importante tener en cuenta que el comportamiento de los vientos varía de acuerdo a las características morfológicas específicas de cada sector urbano, el cual dependerá de factores históricos y sociales.

Figura 2.6: Esquema de manzana, flujos de vientos y su posible comportamiento con respecto a las perturbaciones



Fuente: propia del autor.

De acuerdo a la dirección y sentido de los vientos, algunos edificios quedan a la sombra de otros, lo cual es favorable, para evitar el impacto directo de los vientos. Pero a la vez podría ser perjudicial, si sus colindantes son susceptibles de roturas y esos desprendimientos caen desde determinadas alturas sobre techos para ocasionar graves derrumbes, es por ello que la masa arbórea desempeña un importante papel de protección de las edificaciones, siempre que formen grupos y no como árboles aislados que son más débiles, pueden romperse, volcarse y caer sobre los edificios o simplemente partirse sus ramas y provocarle daños. Cuando la vegetación es abundante los árboles se combinan con las edificaciones y forman una masa, condicionando que la mayor parte por encima, se filtre muy poco reduciéndose los daños por impacto directo. Los árboles que se encuentran en las vías son los causantes generalmente de la rotura de las redes eléctricas.

Cuadro 2.2: Clasificación de la velocidad de los vientos[51, 2]

Número de Beaufort	Velocidad del Viento (km/hr)	Descripción Internacional	Efecto del Viento sobre el Mar	Efecto del Viento sobre la Tierra
0	0-1	Calmo	Oleaje suave, despejado	Calma, el humo asciende verticalmente
1	2-5	Brisa suave	Oleaje suave	El humo indica la dirección del viento
2	6-11	Brisa suave	Oleaje suave, crestas de apariencia vítrea	Se caen las hojas de los árboles, empiezan a moverse los molinos de los campos
3	12- 19	Brisa moderada	Olas grandes y pequeñas	Se agitan las hojas, ondulan las banderas
4	20-28	Brisa moderada	Olas grandes y pequeñas	Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles
5	29-38	Brisa fresca	Oleaje moderado, muchas crestas	Pequeños movimientos de los árboles, superficie de los lagos ondulada
6	39-49	Ventarrones	Grandes olas, muchas crestas	Se mueven las ramas de los árboles, dificultad para mantener abierto el paraguas.
7	50-61	Brisa fuerte	Grandes olas, muchas crestas	Se mueven los árboles grandes, dificultad para caminar contra el viento
8	62-74	Ventarrón temporal	Olas altas, mucha espuma	Se quiebran las copas de los árboles, circulación de personas muy dificultosa
9	75-88	Ventarrón fuerte temporal	Olas altas, mucha espuma	Daños en árboles, imposible andar contra el viento
10	89-102	Ventarrón constante	Olas muy altas, mar revuelto	Árboles arrancados, daños en la estructura de las construcciones
11	103-117	Tormenta	Olas muy altas, mar revuelto	Destrucción en todas partes, lluvias muy intensas, inundaciones muy altas
12-17	>117	Huracán	Mar blanco, lleno de crestas, rocío y espuma	Voladura de autos, árboles, casas, techos y personas. Puede generarse un huracán o un tifón

La ecuación 2.5 es una relación que se estandarizó en 1923, en la que la velocidad del viento puede expresarse de acuerdo a la Escala de Beaufort.

$$v = 0,837B^{(3/2)} [m/s] \quad (2.5)$$

### 2.3.1.4. La Humedad

Debido a que la atmósfera esta constituida por cantidades variables de agua en cualquiera de sus estados, lo que dependerá de la temperatura y de la presión, lo cual contribuye a que pase de sólido, cuando hay presencia de escarcha, nieve o granizo, a líquido (precipitación) o a gaseoso, es decir cuando hay presencia de vapor de agua en el aire, lo cual se le denomina humedad. Por lo general cuando el aire esta muy húmedo se forma precipitaciones, a diferencia de cuando hay aire seco que provoca que el agua de la tierra empiece a evaporarse. Para el estudio meteorológico al vapor de agua es expresado mediante la humedad relativa, es decir el porcentaje de la cantidad máxima que puede contener el aire saturado a una determinada temperatura. [43, 48]

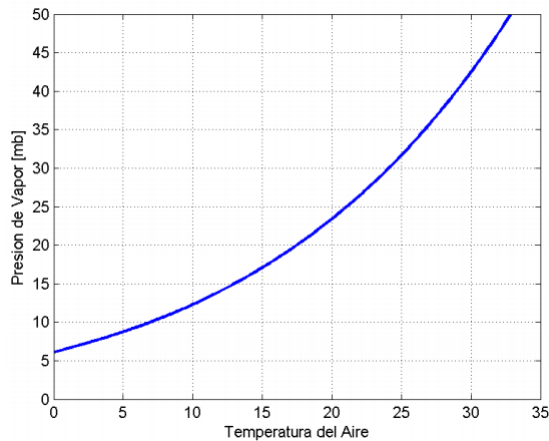
La humedad en la atmósfera se mide en porcentaje, siendo el valor máximo 100 %, por lo que cuando se alcanza este valor se dice que el aire esta saturado, conllevando que el exceso de vapor se condense y se transforme en niebla o nubes, pero cuando es superado este porcentaje y el aire no admite mas agua, se presenta un fenomeno conocido como rocío, el cual se presenta generalmente en las mañanas de invierno.

Para obtener una medida cuantitativa de la humedad relativa es importante contar con los conceptos de presion de vapor, humedad absoluta, razon de mezcla y humedad especifica.

LA PRESION DE VAPOR, se puede expresar como la presión que actua sobre el vapor presente en la atmósfera,  $e$ , independientemente de los otros gases. Segun la Ley de Dalton, la presión total de la atmósfera es la suma de la presión que ejerce el aire seco más la presión ejercida por el vapor de agua[9], mientras la cantidad máxima de vapor que puede presentarse depende de la temperatura ambiente. Cuanto mayor sea la temperatura, más vapor puede contener el aire. Cuando el aire esta saturado de vapor de agua, la presión parcial del vapor de agua,  $e_s$ , depende sólo de la temperatura de acuerdo a la ecuación 2.6, que corresponde a una derivación de la ecuación Clausius Clapeyron[35][28], la cual está representada por la figura2.7.

$$e_s = 6,11 * 10^{\frac{7,5T}{T+237,3}} [hPa] \quad (2.6)$$

Figura 2.7: La presión de vapor saturado en función de la temperatura, bajo la ecuación de Clausius-Clapeyron de presión de vapor..



Fuente: INTRODUCCIÓN A LA METEOROLOGÍA GENERAL [48].

LA HUMEDAD ABSOLUTA,  $\rho_v [g/m^3]$ , es la densidad de vapor de agua contenido en el aire a una temperatura y presión determinados, es decir la cantidad de masa en un volumen determinado, definida por la ecuacion 2.7, donde  $e$  esta en [hPa] y  $T$  esta en [K], mientras  $R_v$  equivale a  $461 \left[ \frac{J}{(kg(K))} \right]$ . Pero si el aire esta saturado se tiene la densidad del vapor se puede determinar mediante la ecuacion 2.8[35].

$$\rho_v = \frac{e}{R_v T} \quad (2.7)$$

$$\rho_v = \rho_{vs}(e_s, T) \quad (2.8)$$

LA RAZÓN DE MEZCLA, o razón de humedad  $[g/Kg]$ , se define como la razón entre la masa de vapor de agua,  $\rho_v$ , y la masa de aire seco,  $\rho_d$ . se determina mediante la ecuación 2.9, donde  $p$  es la presión atmosférica (medida en hPa)[28].

$$r = \frac{\rho_v}{\rho_d} = 622 \frac{e}{p - e} \quad (2.9)$$

ejerce

LA HUMEDAD ESPECÍFICA,  $q[g/Kg]$ , de una muestra de aire húmedo, representa la cantidad de vapor de agua,  $\rho_v$ , contenida en la masa de aire húmedo,  $\rho_v + \rho_d$ , determinada por la ecuación 2.10, donde  $p$  es la presión de atmosférica en  $hPa$ . sin embargo, si el aire esta saturado se tiene  $q = q_s(e_s, p)$ [35].

$$q = \frac{\rho_v}{\rho_v + \rho_d} = \frac{0,662}{p - 0378e} \quad (2.10)$$

LA HUMEDAD RELATIVA, HR [%], es la proporción de vapor de agua real en el aire comparada con la cantidad de vapor de agua necesaria para la saturación a la temperatura correspondiente. Indica que tan cerca está el aire de la saturación. Se mide en porcentaje entre 0 y 100, donde el 0% significa aire seco y 100% aire saturado[28], definida por la ecuación 2.11.

$$HR = \frac{r}{r_s} \cong \frac{e}{e_s} \cong \frac{q}{q_s} \quad (2.11)$$

### 2.3.1.5. La Precipitación

La precipitación puede, producirse por la caída directa de gotas de agua o de cristales de hielo que se funden, las gotas son mayores cuanto más alta está la nube que las forma y más elevada es la humedad del aire, ya que se condensa sobre ellas el vapor de las capas que van atravesando. Durante el recorrido, muchas gotas llegan a juntarse, fenómeno que también se presenta en los cristales de hielo. Estas gotas caen en virtud de su peso, y lo hacen a una velocidad que varía entre 4 y 8 m/s, según sea el tamaño de las mismas y la influencia del viento. En cuanto a su tamaño, varía entre 0,7 y 5 milímetros de diámetro. Por lo que, la lluvia resulta del ascenso y enfriamiento del aire húmedo, ya que a menos temperatura no puede retener todo su vapor de agua, parte del cual se condensa rápidamente, lo que ocurre de varias formas[48]:

- Lluvia de convección: provocado por el ascenso de aire húmedo y cálido dando origen a nubes de gran desarrollo vertical, que internamente están formadas por una columna de este aire, el cual se eleva en forma de espiral rotatorio, generando lluvias intensas y hasta tormentas eléctricas.
- Lluvia orográfica: generada por el ascenso forzoso de una columna de aire húmedo a un nivel con una temperatura mucho más fría mientras en su recorrido esta masa de aire se encuentra con un obstáculo orográfico, como una montaña.
- Lluvia frontal o ciclónica: formada por el ascenso forzoso de una masa de aire húmedo a una temperatura elevada y durante su recorrido se encuentra con otra masa de aire húmedo pero a una temperatura mucho más inferior y de gran tamaño en comparación a esta. Debido a que estas masas de aire no se mezclan, la masa de aire de mayor temperatura asciende, deslizándose por encima de la masa de aire de baja temperatura, produciendo un enfriamiento drástico, llevándolo a la condensación y posteriormente a la precipitación.

Es importante tener en cuenta que existen 3 tipos de precipitación, lluvia, granizo y nieve, las cuales a su vez poseen una clasificación de acuerdo a ciertas características. La lluvia se clasifica en agua líquida, lluvia general, llovizna garúa, chaparrón y aguacero. Mientras la variedad de granizo es de carácter blando, duro y piedra. En lo que la nieve se clasifica en nieve común, agua nieve, nieve granulada y agujas de nieve.

- Lluvia de agua líquida, la cual resulta de la caída directa de las nubes, que inicialmente es hielo pero durante su trayectoria se descongela, formando gotas que generalmente poseen un diámetro mayor a 0.5mm, comprendiendo superficies de regular extensión.

- Lluvia general, producida por el ascenso de de grandes masas de aire cálido y húmedo, poseen una duración de 3 a 48 horas, abarcando grandes extensiones.
- Llovizna, que se genera de la misma forma que una lluvia general pero estas masas de aire poseen una humedad relativa baja o no alcanzan alturas significativas, el tiempo de duración puede variar, son precipitaciones uniformes y con velocidades de caída muy bajas en comparación a las otras.
- Garúa, considerada como una llovizna de niebla, en la que las gotas de agua que la conforman poseen direcciones aleatorias, siendo la cantidad de agua muy mínima que desciende.
- Chaparrón, generadas por el ascenso violento de masas de aire caliente y húmedo, son lluvias de tiempos muy cortos y de gran intensidad.
- Aguacero, se desarrollan bajo las mismas condiciones que un chaparrón además de que también son de corta duración pero con una intensidad superior a la de un chaparrón.
- En la actualidad se implementa un pluviómetro para medir la precipitación, este sistema mide el agua que cae sobre un metro cuadrado de superficie durante 24 horas, para posteriormente ser expresando en litros por metro cuadrado.
- Granizo blando, pequeños granos blanco con un tamaño entre 2 y 5mm, formados por la adhesión de gotas de agua sobre enfriadas a un cristal de nieve.
- Granizo duro, grano recubierto por una capa de hielo, es semitransparente, y es formado por nubes nubes de gran desarrollo vertical, que internamente están formadas por una columna de este aire cálido y húmedo, el cual se eleva en forma de espiral rotatorio.
- Granizo piedra, poseen un tamaño de 2cm aproximadamente, se desarrollan bajo las mismas condiciones que el granizo duro, solo que la temperatura y humedad relativa es mucho más elevada en comparación.
- Nieve común, son cristales de hielos que durante su caída se agrupan formando copos de nieve, estos se forman en temperaturas inferiores a los 0°C y su velocidad de caída es igual o menor a 2m/s.
- Agua nieve, considerada como una mezcla de lluvia y nieve, producida por pequeñas capas de aire cálidas que alcanzan a descongelar algunos cristales de hielo.
- Nieve granulada, debido a su tamaño es considerada como un intermedio entre nieve y granizo, generada en temperaturas bajo 0°C en un ambiente con humedad relativa superior al 100%.
- Agujas de nieve, son cristales de hielo muy pequeños, parecen polvo de diamante o lo comúnmente llamado como escarcha.

En la actualidad se implementa un pluviómetro para medir la precipitación, este sistema mide el agua que cae sobre un metro cuadrado de superficie durante 24 horas, para posteriormente ser expresado en litros por metro cuadrado.

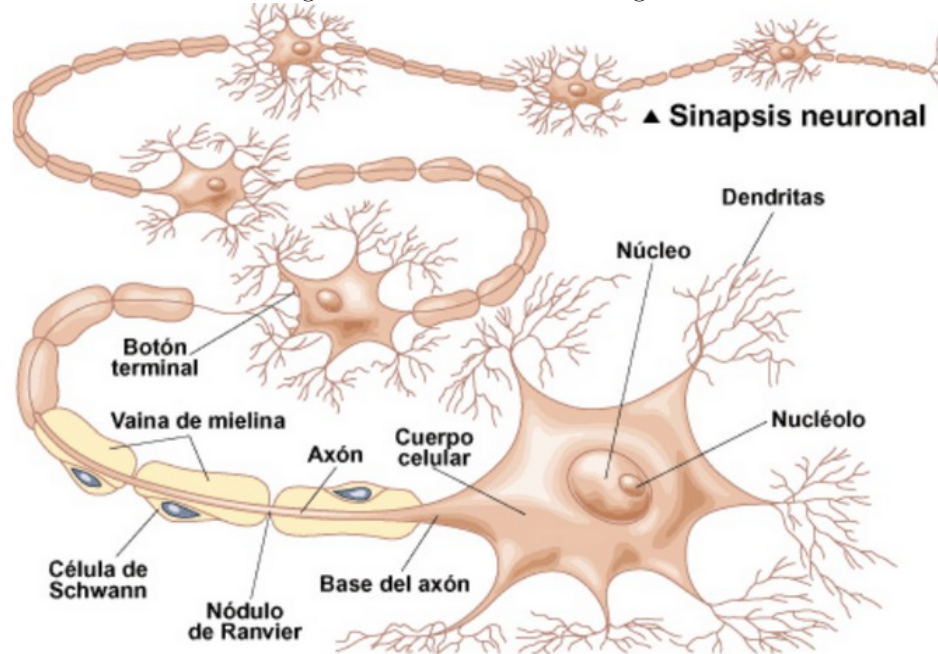
### 2.3.2. Redes Neuronales

Antiguamente, el hombre tenía superioridad ante los sistemas computacionales, ya que eran limitados para resolver cosas sencillas y complejas que los humanos realizaban sin que nadie nos hubiera enseñado previamente, como por ejemplo procesar a gran velocidad grandes cantidades de información provenientes de los sentidos, combinarla o compararla con la información almacenada y dar respuestas adecuadas para adaptarnos y aprender rápidamente de los nuevos entornos. Sin embargo, los sistemas de cómputo de hoy en día son exitosos en la resolución de problemas matemáticos o científicos, pero definitivamente tienen una gran capacidad para interpretar el mundo de una forma aproximada a como nosotros los humanos lo hacemos, más específicamente como nuestro cerebro lo hace.

Es por eso que las redes neurales artificiales (RNA), han surgido como un intento de desarrollar sistemas que emulen el procesamiento del cerebro humano lo que difiere enormemente de la computación clásica digital. Desde el ámbito ingenieril el cerebro es una computadora de procesamiento paralelo, de alta complejidad y no

lineal. El componente clásico de este sistema, la neurona (figura 2.8), es la unidad básica de procesamiento. La neurona en desarrollo presenta plasticidad. Su plasticidad le permite adaptar el sistema nervioso al entorno y memorizar o mecanizar la función. Sin embargo, aun después del aprendizaje de la tarea, la neurona sigue en desarrollo.

Figura 2.8: Red neuronal biológica



Fuente: RNA- Redes Neuronales Artificiales [1].

Nuestro cerebro básicamente es un conjunto de neuronas (entre 10 a 100 mil millones) concentradas. Cuando nosotros aprendemos, algunas de estas conexiones se ponen más fuertes, así si nosotros vemos algo con nuestros ojos, esa información tomará un camino a través de las neuronas, y finalmente nosotros reconocemos el objeto que nosotros simplemente hemos visto, como cuando se bebe el alcohol, reduce la velocidad de las conexiones y los desarregla a un cierto sector de neuronas retrasando la reacción del estímulo de salida [49].

De forma general, una red neuronal pasa a ser una máquina o algoritmo que esta diseñada para modelar una tarea particular del cerebro. Usualmente es implementada basada en componentes electrónicos o simulada en software en una computadora digital. Para un buen rendimiento, una red neuronal es una interconexión masiva de células de computo llamadas neuronas o unidades de procesamiento.

“Una red neuronal es un procesador paralelo masivo distribuido compuesto por unidades simples de procesamiento que es propenso por naturaleza a almacenar conocimiento experimental y hacerlo disponible para el uso”. Se asemeja al cerebro en dos aspectos:

- El conocimiento es adquirido por la red desde el entorno a través de un proceso de aprendizaje.
- Los pesos de las conexiones entre las neuronas, conocidos como pesos sinápticos son usados para guardar el conocimiento adquirido.

Los beneficios que presentan las redes neuronales son:

*No linealidad:* Las redes neuronales pueden ser lineales y no lineales, una red construida a base de la interconexión de neuronas no lineales será una red no lineal.

*Mapeo de entrada-salida:* Un Paradigma popular de aprendizaje es conocido como “aprendizaje supervisado” e implica la modificación de los pesos de la red neuronal en base a ejemplos de entrenamiento. Donde

cada ejemplo tipifica una respuesta deseada y el entrenamiento minimiza la diferencia entre la salida de la red y los datos de entrenamiento.

*Adaptabilidad:* Una red ya entrenada tiene la capacidad de volverse a adaptar a nuevas condiciones, no se debe confundir este termino con robustez, esto se debe a que si tenemos un sistema que cambie rápidamente, así, se debe buscar que las constantes de tiempo de los datos sean lo suficientemente largos para poder diferenciar las perturbaciones de comportamiento natural de la red.

Las redes neuronales tienen básicamente dos ciclos de funcionamiento Forwardpropagation y Backpropagation, en el primero la red establece la forma como responde a las entradas presentadas a esta y en el segundo paso se establece la modificación de los pesos de la red finalmente se verá reflejado en el aprendizaje de la red neuronal [5].

### 2.3.2.1. Arquitectura de una Red Neuronal

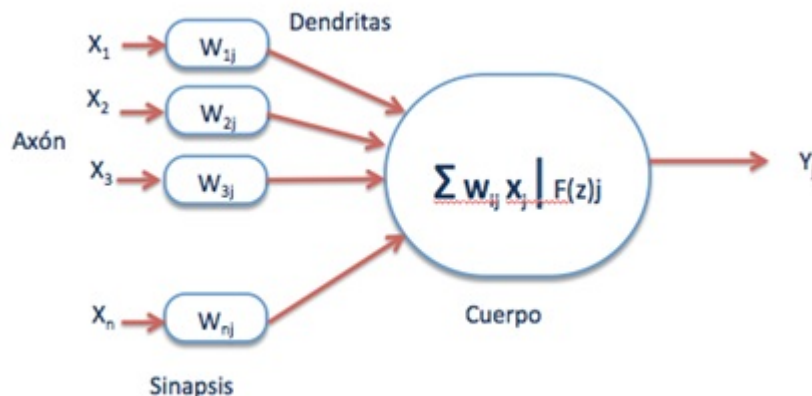
Una red neuronal artificial, es un modelo simplificado de una red neuronal biológica, capaz de almacenar conocimiento experimental, por medio de un proceso interactivo denominado entrenamiento. Este consiste en el cálculo de los pesos o ganancias, con los que un grupo de datos de entrada serán multiplicados antes de sumarse y después de lo cual, dicha suma será sometida a comparación con una función determinada, denominada función de activación.

Para realizar dicho entrenamiento es necesario contar con un grupo de datos conocidos de entrada y de salida, los cuales serán presentados a la red, asociando cada entrada con su respectiva salida. Se presenta un proceso iterativo en el cual los pesos cambian hasta que la salida de la red coincida con la presentada, en este punto se generará la respuesta final o entrenamiento, en donde los pesos ya no cambiarán.

La figura 2 presenta una red neuronal artificial, asociando las partes que la componen con una red neuronal biológica, para el caso se tiene:

- Axón: son las fibras que sirven como líneas de transmisión, es decir, las entradas de la red.
- Cuerpo o soma: Suma los potenciales suministrados por las dendritas.
- Dendritas: Ramas que suministran las entradas al cuerpo de la red.
- Sinapsis: Es la unión de dos neuronas, donde las dendritas reciben información de otras neuronas.

Figura 2.9: Red neuronal artificial.



Fuente: Propia del autor.

Los conceptos básicos de una RNA son que la red esta formada por capas, estas capas son para la Entrada y Salida podría haber también algunas capas ocultas cada capa conforma un conjunto de nodos. Todos los

los nodos almacenan un valor llamado activación y posteriormente un error, cada nodo de una capa conectará a todos los nodos de la próxima capa.

Las redes más simples solo tienen una capa en la entrada y una capa de rendimiento, así que cada nodo de la capa de entrada se unirá a cada nodo de la capa de rendimiento, cada uno guarda un valor denominado peso.

La conexión de las redes normalmente tienen 3 capas: Entrada, Oculta y Rendimiento. Los nodos de la entrada conectan a oculta, y los nodos de oculta conectan al rendimiento. Así, que es un sistema Feed Forward, mientras se está moviendo de la entrada al rendimiento se puede tener múltiples capas ocultas, pero tener una sola neurona simplemente suelen ser muy común. [49].

**2.3.2.2. Función de activación de una Red Neuronal**

Una neurona artificial puede tener diferentes estados de activación, en comparación con una neurona biológica, la cual solo posee dos estados, *estado de activación* o excitación y *estado inactivo* o sin excitación.

Los estados de activación de una neurona artificial pueden ser dos o más las cuales están en un rango determinado según una *función de activación* predeterminada, sin embargo en su forma simplificada, esta función es binaria, es decir se activa o no la neurona. Esta función de activación, es una función de la entrada global ( $Gin_i$ ) menos el umbral ( $\Theta_i$ ), donde las funciones más comunes se ven representadas a continuación, aunque existen otras funciones como función radial, armónica, entre otras que se implementan para aplicaciones más complejas [38].

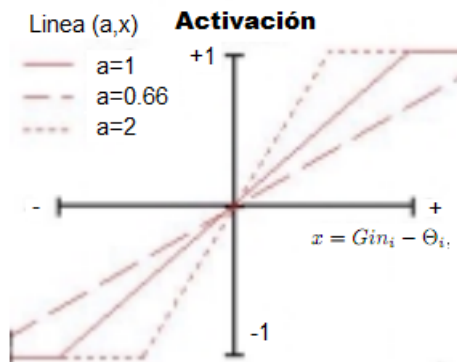
**Función Lineal:**

$$f(x) = \begin{cases} -1 & x \leq -\frac{1}{a} \\ a * x & -\frac{1}{a} < x < \frac{1}{a} \\ 1 & x \geq \frac{1}{a} \end{cases}$$

con  $x = Gin_i - \Theta_i$ , y  $a > 0$

Por lo tanto la salida de esta función de activación será  $a(Gin_i - \Theta_i)$ , mientras que  $Gin_i - \Theta_i$  este entre un rango de  $(-\frac{1}{a}, \frac{1}{a})$ . Para los casos por encima o por debajo la salida es exactamente igual a la entrada, como se observa en la figura 2.10.

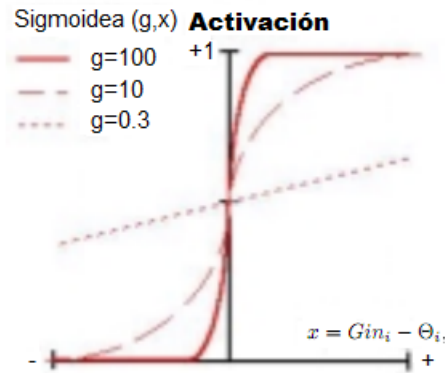
Figura 2.10: Función de activación lineal.



**Función Sigmoidea**  $f(x) = \frac{1}{1+e^{-gx}}$   
 con  $x = Gin_i - \Theta_i$ .

La modificación de  $g$  se ve representada en la pendiente de la función de activación, además de que el rango de salida va entre 0 y 1, tal y como se representa en la figura 2.11.

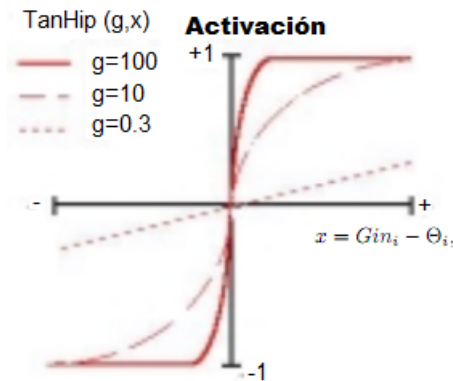
Figura 2.11: Funcion de activación sigmoidea.



**Función Tangente Hiperbólica**  $f(x) = \frac{e^{gx} - e^{-gx}}{e^{gx} + e^{-gx}}$   
 con  $x = Gin_i - \Theta_i$ .

La modificación de  $g$  se ve representada en la pendiente de la función de activación, mientras los valores de salida se dan en un rango de 1 a -1 (ver figura 2.12).

Figura 2.12: Funcion de activación tangente hiperbólica.



### 2.3.2.3. Entrenamiento de una Red Neuronal Artificial

El entrenamiento requiere la presencia repetida de un número relativamente amplio de patrones que permitan que la red aprenda, haciendo modificaciones en los pesos o sinapsis de las conexiones por medio de una regla de aprendizaje. El tipo de aprendizaje más sencillo consiste en presentar patrones de entrada a la red junto a los patrones de salidas deseados, para cada patrón de entrada. A este tipo de aprendizaje se lo denomina aprendizaje supervisado.

De esta forma, el algoritmo de entrenamiento de una red neuronal artificial simple, se puede resumir en seis pasos, los cuales se presentan a continuación.

Paso 1: Inicializar los pesos y el bias utilizando valores aleatorios pequeños.

Paso 2: para un vector de entrada determinado por el tipo  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)T$ , hallar el valor de la red.

$$red = \sum_{(i=1)}^n (w_i x_i + b) \tag{2.12}$$

Paso 3: Calcular el valor de la salida de la función de activación así:

$$Y = 1 \text{ Si } red > 0 \quad (2.13)$$

$$Y = 0 \text{ Si } red \leq 0 \quad (2.14)$$

Paso 4: Actualizar los pesos y el bias para k-ésima iteración así:

$$w_i(k+1) = w_i(k) + \varepsilon x_i \quad (2.15)$$

$$b(k+1) = b(k) + \varepsilon \quad (2.16)$$

Donde  $\varepsilon = \bar{y} - y$ , representa el error entre la salida correspondiente  $\bar{y}$  y la predicha por la red  $y$ .

Paso 5: para cada vector de entrada se debe repetir los pasos 2 a 4 hasta que los pesos no cambien o se llegue al mismo número de iteraciones.

Este proceso iterativo, en el que cada vez que se actualizan los pesos después de la presentación de todos los ejemplos de entrenamiento, acción que se denomina época, permite alcanzar un mínimo de error previamente definido, punto en el cual se considera entrenada la red y para el cual habrán transcurrido un cierto número de épocas. Mientras más compleja la estructura de los datos mayor número de iteraciones requerida.

Una vez estimada la red, como se mencionó, se obtienen los valores finales de los pesos, los cuales serán fijos y servirán posteriormente para el cálculo de la respuesta o salida de la red, frente a cualquier dato de entrada, este proceso posterior al entrenamiento se denomina predicción.

#### 2.3.2.4. Precision- Recall

*Precision*, se refiere a la precisión con la cual la red determina o realiza la predicción, mientras que *Recall* es la sensibilidad que tiene esta para reconocer datos correctamente. Sin embargo, en nuestro caso esta sensibilidad se evidenciará en el momento que alguno de nuestros sensores llegase a faltar, por el momento para efectos prácticos los resultados generados para los dos serán idénticos.

Para determinar la precisión con la que la red funciona se deduce por medio de la ecuación 2.17, mientras la sensibilidad estará dada por la ecuación 2.18 [7].

$$Precision = \frac{Verdaderos\ Positivos}{Verdaderos\ Positivos + Falsos\ Positivos} \quad (2.17)$$

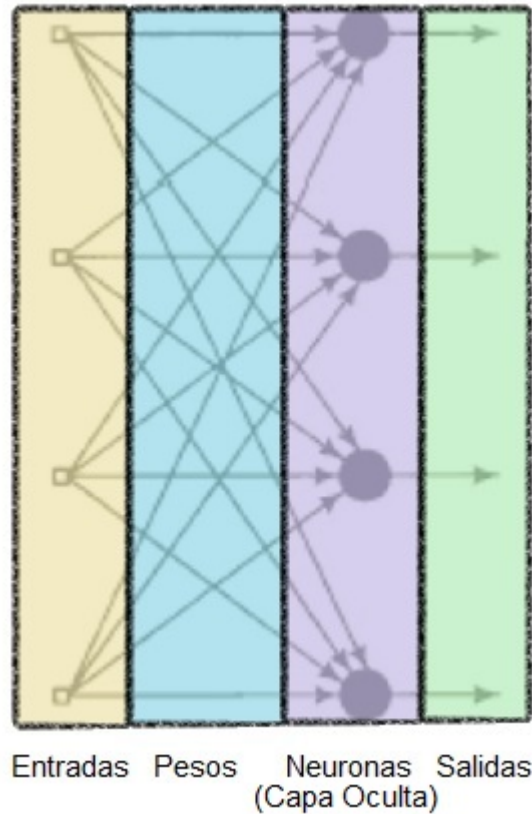
$$Recall = \frac{Verdaderos\ Positivos}{Verdaderos\ Positivos + Falsos\ Negativos} \quad (2.18)$$

#### 2.3.2.5. El Perceptrón de una capa

Dentro de una red neuronal, los elementos de procesamiento se encuentran agrupados por capas (figura 2.13), una capa es una colección de neuronas de acuerdo a la ubicación de la capa en la RNA, esta recibe diferentes nombres.

- Capa de entrada.
- Capa Oculta.
- Capa de salida.

Figura 2.13: Modelo neuronal de una capa.



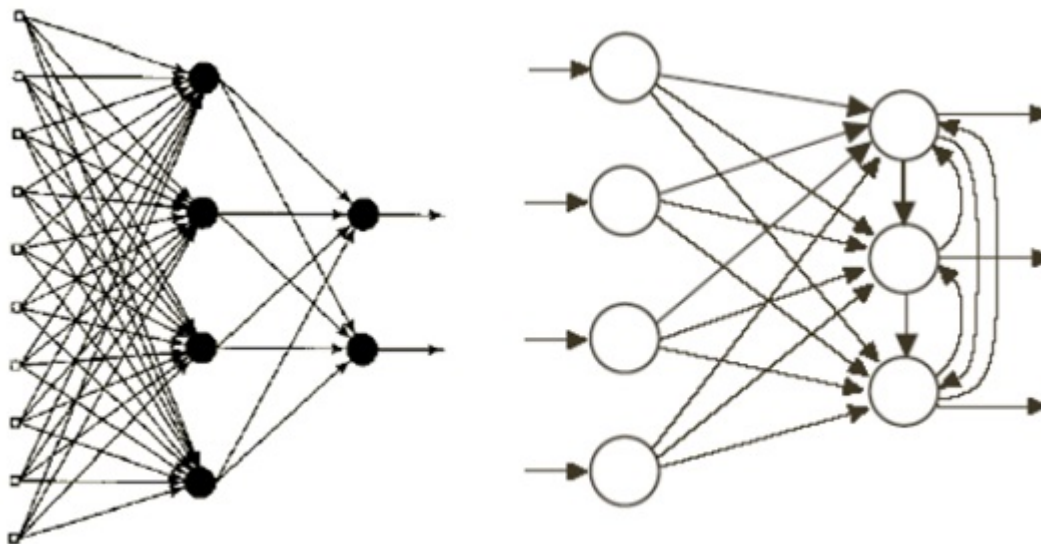
Fuente: RNA- Redes Neuronales Artificiales [1].

### 2.3.2.6. El Perceptrón Multicapa

El perceptrón multicapa es una clase de feed-forward en el que cada conexión debe terminar en un nodo, en la capa mas alta de la que comenzó. Al descubrir el perceptrón se refiere a una red con N capas de peso y con N capas del perceptrón. Siendo esta una red de retro propagación, compuesta de varias capas de neuronas entre la entrada y la salida de la red, esta permite establecer regiones de decisión más complejas que las de los dos semiplanos, como lo hace un perceptrón simple[52].

Una red multicapa simplemente es una red que contiene varias capas en su estructura (figura 2.14), la forma en que las capas se encuentran conectadas es fundamental para poder clasificar la red y así determinar una predicción más aproximada.

Figura 2.14: Modelo de una red neuronal multicapa.



Fuente: RNA- Redes Neuronales Artificiales [1].

## 2.4. Marco Legal

Desde hace ya unos años el tema de «Protección Ambiental» en el país ha resonado con más fuerza y frecuencia, ya que se ha empezado a contar con políticas ambientales e iniciativa de conservación, la cuales se encuentran apoyadas por la Constitución Política, donde se establece la obligación del Estado de proteger las riquezas naturales de la Nación.

Colombia dio dos pasos importantes para el medio ambiente, el primero se dio con la ley 99 de 1993, en la que se crea el Ministerio de Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y se dictan otras disposiciones a favor del cuidado ambiental[11]. El segundo paso importante se dio con la ley 164 del 1994, con la que se aprueba la “Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”, hecha en Nueva York el 9 de mayo de 1992[12]. Aunque en el 2000 se dió un tercer paso en el que se aprobó el protocolo de Kyoto mediante la Ley 629 de 2000, la cual fue reforzada con la Ley 697 de 2001, denominada como una iniciativa de conservación ambiental, mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas[14]. Consecutivamente se designó al Ideam como la entidad coordinadora de la elaboración de las Comunicaciones Nacionales, y se expidió el documento Conpes 3242 de 2003 sobre la “Estrategia Nacional para la venta de servicios ambientales de mitigación de cambio climático”. Finalmente se ajustaron los mecanismos para la aprobación nacional de proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que optan por MDL; y se creó el Comité Técnico Intersectorial de Mitigación del Cambio Climático del Consejo Nacional Ambiental[19].

### 2.4.1. Ley 99 de 1993 [11]

En esta se establecen un conjunto de normas, actividades, recursos, programas e instituciones que permiten impulsar los principios generales. También se establecen los institutos de investigación necesarios para fortalecer la formulación de políticas, normas y directrices en la materia.

Algunos de los principios más importantes sobre la que se rige esta ley son:

- La protección prioritaria y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad del país, debido a que son patrimonio del país y sobre todo de interés de la humanidad.

- El Estado fomentará la incorporación de los costos ambientales y el uso de instrumentos económicos para la prevención, corrección y restauración del deterioro ambiental y para la conservación de los recursos naturales renovables.
- Los estudios de impacto ambiental serán el instrumento básico para la toma de decisiones respecto a la construcción de obras y actividades que afecten significativamente el medio ambiente natural o artificial.
- Para el manejo ambiental del país, se establece un Sistema Nacional Ambiental (SINA) cuyos componentes y su interrelación definen los mecanismos de actuación del Estado y la sociedad civil.
- Las instituciones ambientales del Estado se estructurarán teniendo como base criterios de manejo integral del medio ambiente y su interrelación con los procesos de planificación económica, social y física.

Aunque uno de los principios más importantes y que apoyan la finalidad de este proyecto es “La prevención de desastres será materia de interés colectivo y las medidas tomadas para evitar o mitigar los efectos de su ocurrencia serán de obligatorio cumplimiento.”

#### 2.4.2. Ley 164 de 1994 [12]

Referente al cambio climático que se ha venido presentando en la última década, Colombia aprobó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) mediante esta Ley.

Mediante esta Ley se reconoce que los cambios del clima de la Tierra y sus efectos adversos son una preocupación común de toda la humanidad, además de que estas son una de las mayores preocupaciones, debido a que la humanidad ha ido aumentando el desarrollo de actividades que promueven sustancialmente la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, y que debido a esto se ha intensificado el efecto invernadero natural, lo cual implica un calentamiento adicional de la superficie terrestre y la atmósfera de la Tierra, afectando gravemente a los ecosistemas naturales y por ende a la humanidad entera.

Siendo el objetivo principal lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible.

Con el objetivo principal descrito todos aquellos de acuerdo, deberán regirse bajos unos principios fundamentales, algunos de ellos y los más importantes son:

- Proteger el sistema climático en beneficio de las generaciones presentes y futuras, sobre la base de la equidad y de conformidad con sus responsabilidades comunes. En consecuencia, todos aquellos países desarrollados deberían tomar la iniciativa en lo que respecta a combatir el cambio climático y sus efectos adversos. Pero deberá tomarse plenamente en cuenta las necesidades específicas de países en desarrollo, en especial los más vulnerables a los efectos adversos del cambio climático, los cuales tendrían que soportar una carga anormal o desproporcionada en virtud de la Convención.
- Tomar medidas de precaución para prever, prevenir o reducir al mínimo las causas del cambio climático y mitigar sus efectos adversos.
- Promover el desarrollo sostenible del país. Por lo que las políticas y medidas para proteger el sistema climático contra el cambio inducido por el ser humano deberían ser apropiadas para las condiciones específicas del País y estar integradas en los programas nacionales de desarrollo, tomando en cuenta que el crecimiento económico es esencial para la adopción de medidas encaminadas a hacer frente al cambio climático.
- Promover y facilitar, en el plano nacional, la educación, formación y sensibilización del público. Por lo que se debe motivar el acceso del público a la información sobre el cambio climático y sus efectos, la participación del público en el estudio del cambio climático y sus efectos y en la elaboración de las respuestas adecuadas, además de dar la correcta formación de personal científico, técnico y directivo.

- Cooperarán y promoverán en el plano internacional, y según proceda, por intermedio de organismos existentes, en actividades como la preparación y el intercambio de material educativo y material destinado a sensibilizar al público sobre el cambio climático y sus efectos. Y la elaboración y aplicación de programas de educación y formación, incluido el fortalecimiento de las instituciones nacionales y el intercambio o la adscripción de personal encargado de formar expertos en esta esfera, en particular para países en desarrollo.

#### 2.4.3. Ley 629 de 2000 [13]

El Estado colombiano mediante la Ley 629 del 27 de diciembre de 2000 ratificó un protocolo que fue establecido bajo el marco de las Naciones Unidas, llamado el Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de Las Naciones Unidas Sobre El Cambio Climático, el cual constituyó un acuerdo entre los Estados para reducir las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) causantes del calentamiento global, en ese orden fue establecida la meta de disminuir en un 5% los niveles de 1990 para el año 2012 [41].

En medio del desarrollo del Protocolo de Kyoto se determinó que una de las formas de reducir el los GEI es promoviendo el desarrollo sostenible, por lo que el Estado está comprometido en aplicar y/o seguir elaborando políticas y medidas que fomenten la eficiencia energética en los sectores pertinentes de la economía nacional, proteger y mejorar los sumideros y depósitos de los GEI no controlados por el Protocolo de Montreal, promocionar modalidades agrícolas sostenibles a la luz de las consideraciones del cambio climático

Esta Ley se compromete con la investigación, promoción, desarrollo y aumento del uso de formas nuevas y renovables de energía, de tecnologías de secuestro del dióxido de carbono y de tecnologías avanzadas y novedosas que sean ecológicamente racionales.

#### 2.4.4. Ley 697 de 2001 [14]

Mediante esta Ley el Estado fomenta el uso racional y eficiente de la energía, también se promueve la utilización de energías alternativas. para ello se decretan una serie de artículos que la promueven, entre los más importantes se encuentra:

- Declarar el Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, fundamental para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección al consumidor y la promoción del uso de energías no convencionales de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales.
- El Estado debe establecer las normas e infraestructura necesarias para el cabal cumplimiento de la presente ley, creando la estructura legal, técnica, económica y financiera necesaria para lograr el desarrollo de proyectos concretos, URE, a corto, mediano y largo plazo, económica y ambientalmente viables asegurando el desarrollo sostenible, al tiempo que generen la conciencia URE y el conocimiento y utilización de formas alternativas de energía.
- El Ministerio de Minas y Energía, será la entidad responsable de promover, organizar, asegurar el desarrollo y el seguimiento de los programas de uso racional y eficiente de la energía, de la misma forma para el uso de energías no convencionales, estudiando la viabilidad económica, financiera, tecnológica y ambiental.
- Se darán estímulos por medio de algunas entidades gubernamentales para promover el desarrollo de esta Ley. Por ejemplo, Colciencias otorgará apremios a proyectos y a la creación de programas de investigación en el Uso Racional y Eficiente de la Energía. Además, el Icetex beneficiará con el otorgamiento de préstamos a los estudiantes que quieran estudiar carreras o especializaciones orientadas en forma específica a aplicación en el campo URE.
- Promocionar el uso de fuentes no convencionales de energía. El Ministerio de Minas y Energía formulará los lineamientos de las políticas, estrategias e instrumentos para el fomento y la promoción de las fuentes no convencionales de energía, con prelación en las zonas no interconectadas.

#### **2.4.5. Ley 1715 de 2014[15]**

Esta ley promueve la integridad, desarrollo y utilización de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional, con el fin de contribuir al desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético.

Tiene como objetivo establecer las líneas de acción para el cumplimiento de compromisos asumidos por Colombia en materia de energías renovables, gestión eficiente de la energía y reducción de GEI.

Esta ley aplica para todos los agentes públicos y privados que intervengan en la definición de políticas sectorial en el desarrollo y el aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía tales como la energía de biomasa, energía de los mares, energía de pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, energía eólica, energía geotérmica y energía solar.

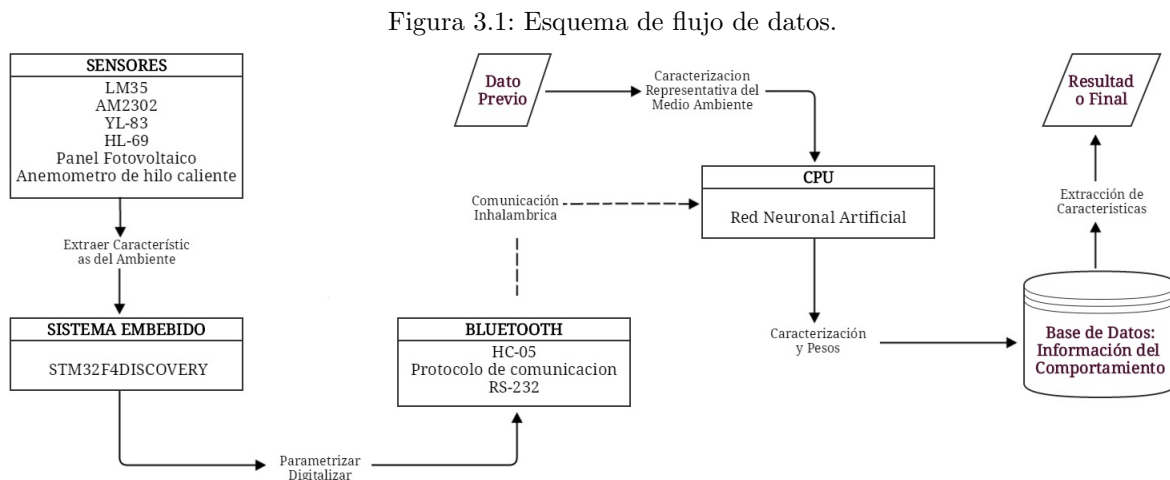
Además promueve incentivos a la inversión en proyectos de fuentes no convencionales de energía (FNCE). Algunos de los incentivos se aplican a las empresas que contribuyan económicamente en dichos proyectos, las cuales tendrán derecho a una reducción de anual del 50 % por la declaración de renta durante los siguientes 5 años al año que se realizó la inversión. Otro de los incentivos es la exclusión de IVA a todos los elementos, equipos, maquinaria y servicios nacionales o importados que se destinen a proyectos de ese fin.

## Capítulo 3

# INGENIERÍA DEL PROYECTO

### 3.1. Generalidades

En este capítulo se observará la descripción detallada del desarrollo que tuvo el proyecto para alcanzar los objetivos propuestos inicialmente. Además de la necesidad que surge de la caracterización y clasificación del sistema meteorológico por zonas, basados en los parámetros como temperatura, humedad, lluvia, gas carbónico y velocidad del viento. Teniendo en cuenta lo comentado anteriormente, sería deseable que el algoritmo genético sea capaz de predecir los datos de entrada de la estación meteorológicas de bajo costo. Por lo tanto, la solución planteada debe ser independiente de los datos a estudiar. Es por eso que se plantea la infraestructura observada en la figura 3.1 para resolver el problema.



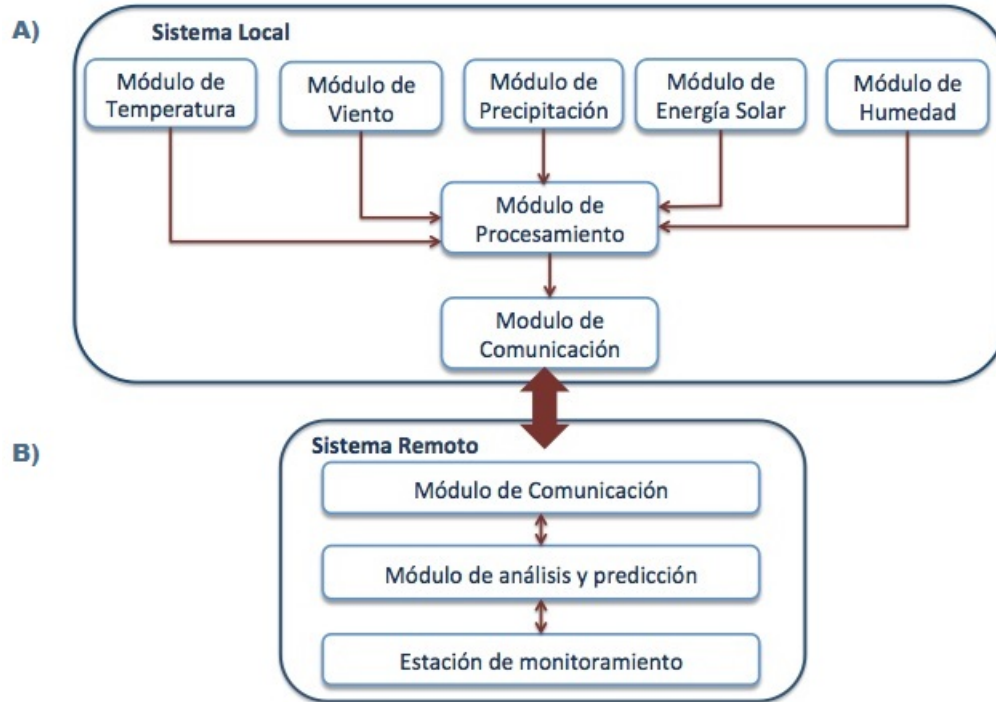
Fuente: Propia Autoria.

### 3.2. Diseño del Sistema

El diseño del sistema se basó en una estación meteorológica de bajo costo, por lo tanto la solución planteada se fundamentó en la implementación de un sistema local y un sistema remoto, los cuales están divididos en módulos, generando un prototipo abierto y con la característica de que se le pueden agregar a futuro más variables de estudio, pero es importante tener en cuenta que debido a esta opción la presente propuesta, tan solo es la primera versión, ya que con cada modificación o adición de algún módulo es necesario

realizar una actualización de software, además de las modificaciones en el hardware. El sistema remoto se encargó del análisis y predicción de las variables capturadas, por medio de las redes neuronales artificiales, como se presenta en la figura 3.2.

Figura 3.2: Ingeniería del proyecto A) Sistema Local B) Sistema Remoto.



Fuente: propia del autor

El diseño mecánico se desarrolló enfocándose en dar facilidades de instalación al usuario, además de ser un prototipo compacto de fácil ubicación, por lo que se aprovechó la estructura del anemómetro y se diseñó el dispositivo que contiene los otros módulos de adquisición, el cual permite fácil movimiento a lo largo del eje vertical del mismo, con el fin de proporcionar fácil acceso al sistema, como se puede ver en la figura 3.3 y una vista más detallada en el anexo 2.

Figura 3.3: Primera versión del prototipo.



Fuente: Propia del Autor.

### 3.2.1. Sistema Local

El sistema local se refiere en sí a la parte física del proyecto, el cual está constituido de seis módulos, los cuales se encargan de la adquisición de información de cada una de las variables meteorológicas esenciales para determinar y caracterizar el tiempo climatológico de una determinada localidad, tales como, temperatura, radiación solar, velocidad del viento, humedad y precipitación, además se encuentra un módulo adicional, el de procesamiento, el cual se encarga de agrupar toda la información meteorológica adquirida por el resto de los módulos y enviarla al sistema remoto, por lo que, del mismo modo que el sistema remoto, tiene un módulo de procesamiento.

En esta sección se presentará el diseño del sistema de la parte mecánica y electrónica del proyecto, ya

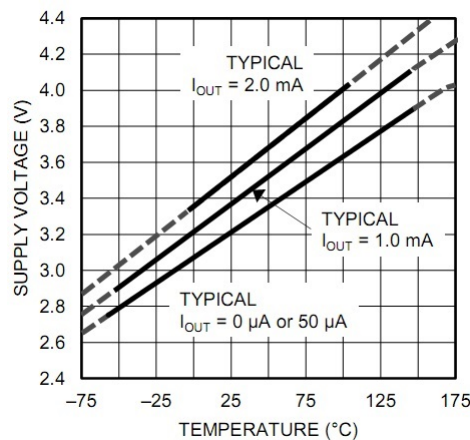
que se presentaran los planos, tanto mecánicos como electrónicos, los cuales se combinan y acomodan de la manera adecuada para el trabajo a desarrollar en cada módulo y así obtener los resultados esperados.

### 3.2.1.1. Módulo de Temperatura & Módulo de Humedad

Para este modulo se manejaron dos tipos de sensores, con el objeto de ante la ausencia de alguno de ellos, el otro lo supliera y además poder comparar ambos resultados. De esta forma, se obtiene la media y así se disminuye el error con respecto a la variación de la temperatura en tiempo real. Los sensores implementados en el proyecto son el LM35 y el AM2302, que por su bajo costo, alta sensibilidad y rango de trabajo se adecúan al desarrollo planteado.

El sensor LM35 es un sensor de temperatura con una precisión calibrada de  $1^{\circ}\text{C}$  y una precisión garantizada de  $0,5^{\circ}\text{C}$  a  $25^{\circ}\text{C}$ . Posee una salida analógica lineal, en el que  $1^{\circ}\text{C}$  equivale a  $10\text{mV}$ , como se observa en figura 3.4. Su rango de medición abarca desde  $-55^{\circ}\text{C}$  hasta  $150^{\circ}\text{C}$ . Con la posibilidad de operar entre  $4$  y  $30\text{V DC}$ , posee una baja impedancia de salida y un bajo consumo de corriente de alimentación (aprox.  $60\mu\text{A}$ ) [31].

Figura 3.4: Voltage Mínimo de Alimentación Vs. Temperatura .



Fuente: LM35 Precisión Centigrade Temperature Sensor [31].

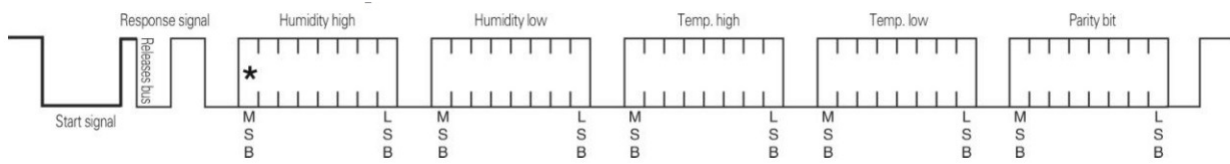
El AM2302 es un módulo con un sensor de temperatura basado en un termistor, el cual es un semiconductor cuya resistencia cambia con la temperatura, mientras que la humedad es medida con un sensor del tipo capacitivo, es decir, funciona gracias al cambio en la permitividad del dieléctrico (el aire) de acuerdo a la humedad.

Este módulo contiene una salida digital calibrada que permite comunicación serial bidireccional con un microcontrolador de 8bits de alto rendimiento, lo cual lo hace tener un respuesta rápida y con un una gran capacidad para no ser afectado por interferencias externas.

La señal percibida por los sensores es convertida por el módulo a una señal digital de 40 bits, la cual es enviada a través de un puerto SDA bajo pedido del controlador, es decir, el módulo se mantiene en un modo inactivo hasta que recibe por medio del puerto SDA un patrón específico que lo activa y le solicita los datos[4].

La respuesta de 40 bits del módulo está compuesta de 16 bits que representan la humedad, otros 16 bits que representan la temperatura, y finalmente 8 bits de paridad, que son la suma de los bytes de humedad y temperatura, como se muestra en la figura 3.5. Este byte de paridad permite al programa en el microcontrolador verificar que no haya habido perdida de datos, de manera que si el byte de paridad es diferente al resultado obtenido al sumar en el programa los valores obtenidos se desechan y se obtienen nuevos[4].

Figura 3.5: Protocolo de comunicación de bus único .



Fuente: Temperature and humidity module AM2302 Product Manual [4].

El valor de humedad es obtenido en porcentaje y multiplicado por 10, de manera que una humedad del 30% sería enviada por el módulo como los siguientes 16 bits:

$$0000000100101100 = 12C(\text{Enhexadecimal}) = 300$$

El valor de temperatura es obtenido en grados Celsius, también multiplicado por 10, los 16 bits enviados por el módulo para una temperatura de 28.3° serían:

$$0000000100011011 = 11B(\text{EnHexadecimal}) = 283$$

### 3.2.1.2. Módulo de Radiación Solar

Para este módulo se implementará un panel solar de 9v/150mA, el cual es utilizado para recolectar energía obtenida de los fotones que le impactan y mueven electrones mediante el efecto fotovoltaico, con el fin de sensar la radiación solar presente en el día, pero también se aprovechará dicha energía para posteriormente ser implementada como una fuente de energía de emergencia mientras que el usuario realiza el cambio de baterías.

La energía generada por este panel es entonces modulada y acondicionada, utilizando un regulador de voltaje, que permite que el voltaje de salida de la celda se mantenga estable en 9V. El circuito también incluye diodos de protección, que permiten evitar inversiones en la polaridad que representen daños a la batería y un regulador de carga máxima y mínima, para evitar el daño de la batería por sobrecarga y por descarga profunda.

### 3.2.1.3. Módulo de Velocidad del Viento

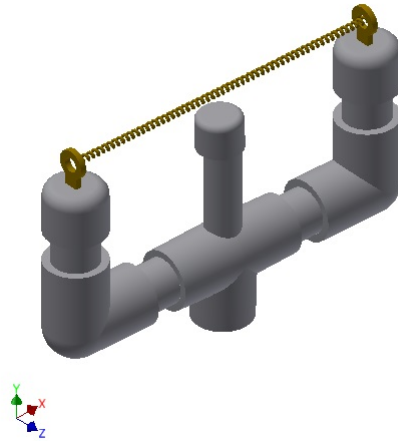
Para este módulo se realizó un estudio de los tipos de sensores especializados en medir la velocidad del viento, algunos de los tipos mas representativos se muestran en el cuadro 3.1.

Cuadro 3.1: Tipos de Anemómetros [6][34][36].

Tipo	Descripción
Anemómetro de empuje	Conformado por una esfera hueca y ligera (Daloz) o una pala (Wild), en el que su posición respecto a un punto de suspensión varía con la fuerza del viento, lo cual se mide en un cuadrante.
Anemómetro de rotación o de copelas	dotado de cazoletas (Robinson) o hélices unidas a un eje central cuyo giro, proporcional a la velocidad del viento, es registrado convenientemente, en los anemómetros magnéticos, dicho giro activa un diminuto generador eléctrico que facilita una medida precisa..
Anemómetro de compresión	basado en el tubo de Pitot y está formado por dos pequeños tubos, uno de ellos con orificio frontal ( que mide la presión dinámica) y lateral (que mide la presión estática,) y el otro sólo con un orificio lateral .La diferencia entre las presiones medidas permite determinar la velocidad del viento.
Anemómetro de hilo caliente	Un anemómetro térmico normal mide la velocidad del fluido detectando los cambios en la transferencia de calor mediante un pequeño sensor calefactado eléctricamente( un hilo o una película delgada) expuesto al fluido bajo estudio, El sensor calefactado es mantenido a una temperatura constante usando un circuito de control electrónico. El efecto de enfriamiento resultante del paso del fluido a través del sensor se compensa aumentando el voltaje del sensor.
Anemómetro sónico	anemómetros se basa en que la velocidad de propagación del sonido depende de la velocidad del viento. Lo que se mide en este caso es el tiempo que demora una señal de sonido en atravesar una distancia conocida.Este intervalo es tiempo está relacionado con la velocidad del viento en la dirección entre el emisor y el receptor. Mediante una medición similar, realizada en una dirección perpendicular a la anterior, se puede calcular la velocidad total del viento y su dirección

Debido a los altos costos de los anemómetros comerciales se determinó elaborar un anemómetro de hilo caliente, gracias a su fácil implementación y pequeñas dimensiones, lo cual representa un beneficio considerable aplicarlo en el proyecto, para ello se utilizó un resistencia de hilo que comúnmente es utilizado para calentar agua y un sensor de temperatura LM-35, ubicados en una configuración como se observa en la figura 3.6 el cual se encargó de medir el cambio de temperatura de acuerdo a la variación de la velocidad del viento.

Figura 3.6: Anemómetro de hilo caliente



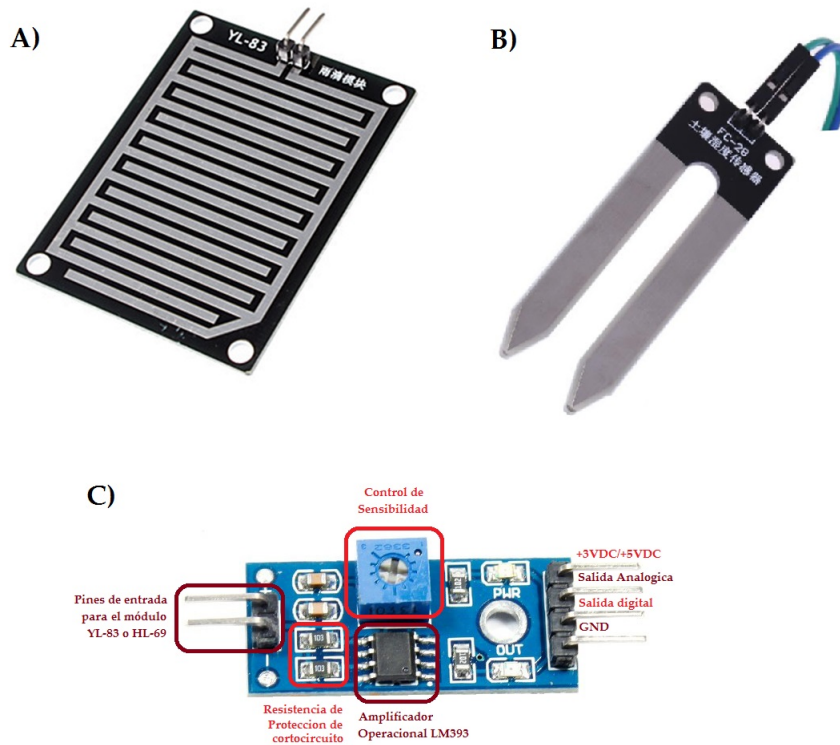
Fuente: Propia del Autor.

Para la ubicación de este sensor se tuvo en cuenta el comportamiento del viento, el cual fue explicado previamente, por lo que se determinó que para poder capturar la velocidad del viento más aproximada a la velocidad laminar, es decir la velocidad útil para el algoritmo sería de más de dos metros sobre el punto más alto del área de estudio, como se observa en el anexo 2.

#### 3.2.1.4. Módulo de Precipitación

Para este módulo se implementaron dos sensores capaces de medir la humedad, pero cada uno en ambientes diferentes, es decir, se dispuso de un higrómetro conocido como módulo YL-83, capaz de medir la humedad del suelo (primera capa), mientras que el módulo HL-69 mide la precipitación o condensación presente en la superficie terrestre, ya sea lluvia, nieve o granizo. Ambos sensores poseen salidas análogas, son de bajo consumo de energía, donde el higrómetro trabaja a una tensión de 5VDC mientras que el sensor de precipitación puede trabajar en un rango de 3 a 5VDC, son calificados como sensores de precisión, de fácil calibración de acuerdo a su implementación, ya que puede modificarse su sensibilidad según requerimientos, debido a que poseen un módulo de acondicionamiento de señal, que consta de un circuito integrado (LM393) que amplifica la diferencia de voltaje que se genera, y que de acuerdo a su configuración esta amplificación puede ser modulada [32]. Estos dos sensores funcionan bajo el principio de la conductividad, por ejemplo el módulo HL-69 actúa como una resistencia variable que cambia de acuerdo a la conductividad entre sus dos terminales, de la misma forma sucede con el YL-83, solo que este posee una serie de pistas conductoras impresas en una placa de baquelita, creando un corto circuito cada vez que se moja la placa, por lo que se crea un camino de baja resistencia entre las pistas con polaridad positiva y las pistas conectadas a tierra, aunque la corriente que fluye se ve limitada por resistencia de 10k en cada conductor, lo que impide que el corto circuito que se genera averíe el micro-controlador.

Figura 3.7: Componentes que conforman el Modulo de Precipitacion A) Módulo YL-83 B) Módulo HL-69 C) Acondicionador de señal.



Fuente: propia del autor.

### 3.2.1.5. Módulo de Procesamiento

Para el módulo de procesamiento se puede utilizar cualquier referencia de micro controlador que permita la adquisición de los datos de cada uno de los módulos anteriores y posteriormente se puedan transmitir, ya que la gran mayoría de sensores implementados, ya poseen su sistema de acondicionamiento de señal incorporado y en otros casos no es necesario. Pero para el desarrollo del presente proyecto, se implementó una tarjeta fabricada por STMicroelectronics, la STM32F4DISCOVERY. Se utilizó debido a que esta permite el uso de múltiples puertos de propósito general como entradas o salidas, ya sean análogas, digitales o alternarlas entre sí, lo cual es muy útil para la adquisición del módulo de temperatura y humedad.

Por medio de este dispositivo se toma cada dato y se procesa, es decir, se convierten de análogos a digitales todos aquellos datos que lo requieran, para luego ser enviados al sistema remoto, este proceso se repite de acuerdo a requerimientos del usuario, en donde la tarjeta puede capturar datos cíclicamente cada minuto o cada hora, según la finalidad de los parámetros de usuario.

### 3.2.2. Sistema Remoto

Como previamente se había comentado el sistema remoto es la parte del proyecto que se encarga del monitoreo y proceso de los datos, para llegar a la parte de predicción. De igual forma que el sistema local esta seccionado en módulos, para su mejor comprensión y desarrollo, los cuales son el módulo de comunicación con el sistema local, el de análisis y predicción de los datos y el modulo de envío de información a centrales que lo soliciten.

### 3.2.2.1. Módulo de Comunicación

Este módulo tiene el objetivo de ser inalámbrico entre los sistemas. Permitiendo que todos los comandos sean compartidos, este medio de comunicación proporciona una distancia máxima en la cual es posible establecer la comunicación entre el sistema local y remoto, para tener la capacidad de validar el comportamiento de la estación meteorológica de bajo costo, se puede establecer que la distancia máxima en la cual se pueden comunicar y obtener los resultados esperados es de 10 metros.

Los datos recibidos y enviados fueron establecidos en un protocolo de comunicación, con el fin de tener un control de información. En la trama de cada mensaje fue adicionado un código de confirmación donde el sistema remoto hace una verificación de forma que pueda validar la integridad de la información o descartar los datos errados o incompletos recibidos. Sin embargo, este método no garantiza la entrega de los mensajes, pero de todos modos los datos que son recibidos son procesados.

#### Protocolo de comunicación

Dado que el sistema requiere una sincronización en el envío y la recepción de los mensajes entre el sistema remoto y local, fue creado un pequeño protocolo de comunicación con el fin de garantizar que los datos sean recibidos y entendidos. Como el sistema de comunicación es por medio del puerto serial, la estructura de los datos es en formato binario, la estructura del protocolo fue dividida en 5 segmentos como se presenta en el cuadro 3.2.

Cuadro 3.2: Especificaciones de la comunicación

Normalizacion de Valores	Inicio del mensaje	Bandera de identificación	Datos	Final del mensaje
--------------------------	--------------------	---------------------------	-------	-------------------

El primer bloque se refiere a un ajuste de los valores obtenidos, en los que se normalizan estos datos entre rangos de 0 a 1 para posteriormente ser implementados en la RNA, seguido por el bloque de inicio del mensaje el cual tiene el tamaño de 1 byte y siempre es el valor 0x49 en notación hexadecimal. Este valor es utilizado para identificar el inicio de un nuevo mensaje.

La bandera de identificación tiene el tamaño de 1 byte y corresponde a la identificación del sistema que esta enviando el mensaje si es el local corresponde a 0x2C si es el remoto el byte corresponde a 0x23 permitiendo identificar el mensaje transmitido.

Los datos no tienen un tamaño definido, su tamaño es variable dependiendo de la información enviada y no precisa que los datos sean identificados y procesados. Finalmente al final de la trama se puede encontrar el final del mensaje el cual tiene un tamaño de un byte y representa el final de la transmisión de los datos.

### 3.2.2.2. Módulo de Análisis y Predicción

La red neuronal debe ser entrenada con la información proveniente de la estación meteorológica anteriormente nombrada, clasificando la información de forma que se obtenga el mínimo error posible.

Una vez entrenada, los datos ofrecidos por la red (pesos de las neuronas, bias, número de capas ocultas, neuronas de entrada y salida) junto con la información adicional de cada uno de los sensores, son enviados al sistema de procesamiento implementado en Matlab®. Con esta información se pretende realizar el análisis de cómo será el comportamiento del clima.

#### Obtención de la red neuronal

Una vez extraídas las características de los sensores implementados son enviados a una Base de Datos, por tanto, debemos encontrar un sistema que dado un conjunto de características preliminares nos diga a qué estado de los almacenados más se parece o corresponde. Esto es lo que se conoce como clasificador o reconocedor a los datos. La utilización de redes neuronales para clasificar datos es una buena opción como demuestran multitud de ejemplos existentes en la literatura [37][37, 33].

Por las características del proyecto se decidió utilizar una de red neuronal tipo perceptron.

Entre las ventajas que tienen este tipo de redes, están que aprovecha la naturaleza paralela de las redes neuronales para reducir el tiempo requerido por un procesador secuencial para determinar la correspondencia entre unos patrones dados. Por otro lado hay que reconocer qué patrones son los más adecuados, es decir, de todos los parámetros enviados a la red unos serán más significativos que otros. Las redes neuronales ayudarán a encontrar los parámetros más significativos.

Una vez que se ha aplicado un patrón de entrada a la red como estímulo, este se propaga desde la primera capa al resto de capas de la red, hasta generar una salida. La señal de salida se compara con la salida deseada y se calcula una señal de error para cada una de las salidas.

En nuestro caso se abordó la clasificación por parte de la red neuronal desde dos perspectivas. Por un lado en el servidor, a través de un programa creado en Matlab, este programa recibirá como entrada los parámetros o características de las imágenes, en nuestro caso la base de datos que tenemos de la estación meteorológica de precisión. Por otro lado se estudiará la clasificación que realiza el prototipo creado con los sensores implementados, implementando un algoritmo de simulación de la red neuronal con la ayuda de la información recibida.

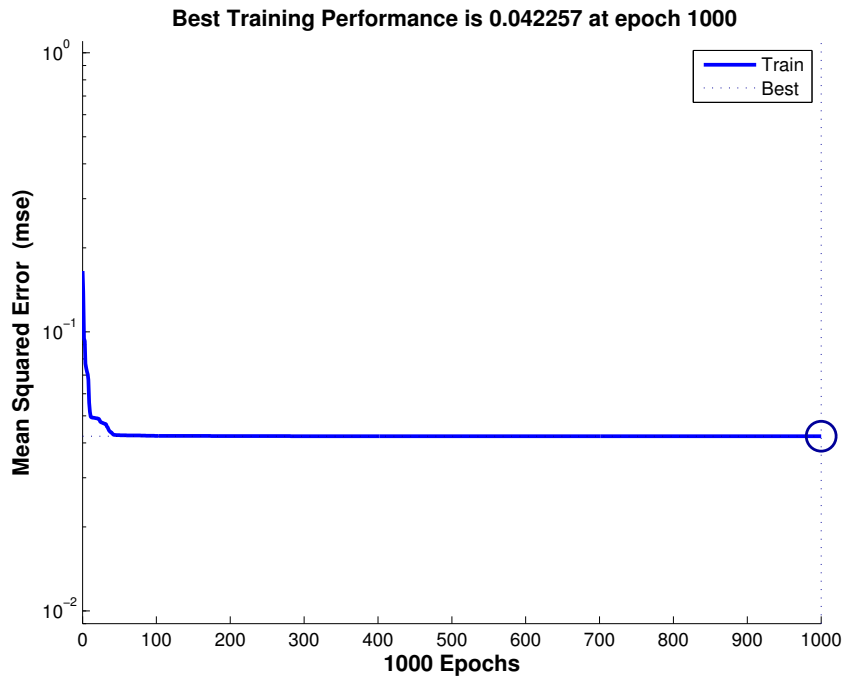
Por el lado del sistema remoto y una vez entrenada la red se obtendrán las características de entorno en el que se encuentre el sistema de monitoreo, la misma para ser almacenadas y evaluadas. A continuación se puede observar un ejemplo del fichero que toma el programa Matlab.

T	TM	Tm	H	PP	VV	V	VM	R
12.9	17.6	8	81	0	10.6	6.3	18.3	71.4
13.4	18	7.9	78	0.25	10.3	91	22.2	100

Los primeros datos son las entradas a la red neuronal, en nuestro caso los valores de la caracterización del estado del clima. Los valores 71.4, 100, etc. son los targets u objetivos también introducidos en la red. Cuando se entrena la red, los pesos de la red neuronal se van ajustando para poder producir esas salidas. Puesto que es una red supervisada, cuando no se produce la salida deseada, se propaga un error para ir modificando los pesos y así conseguir la salida deseada para esas entradas.

Es necesario estudiar el error producido, esto significa que para unos datos de entrada, se debe comparar lo obtenido con lo que debería haber clasificado. Se hicieron pruebas intentando minimizar al máximo el error. La figura 3.8 muestra la evolución del error.

Figura 3.8: Evolución del Error en la RNA



Fuente: Propia del Autor.

Como se puede observar, el error de la red disminuye a valores muy bajos en muy pocas iteraciones.

Se decidió utilizar la función “*purelin*”, una función lineal pura, es decir la red es la salida, para la activación de las neuronas de la capa de salida, puesto que se pretende que las salidas no estén acotadas entre ningún valor. No obstante en la capara oculta se pueden utilizar otros valores.

Como función de entrenamiento de la red se decidió utilizar “*Trainscg*”, esta función entrena redes multicapa con retro propagación actualizando los pesos y bias, de acuerdo al método del gradiente conjugado, que permite una mayor rapidez de convergencia.

A continuación se muestra parte esencial del código utilizado (figura 3.9) .

Figura 3.9: Código implementado para la RNA.

```

datos = load ('sensores.xml'); %%Cargamos los datos de
entrada
T= xlsread('datos.xls',1)
H= xlsread('datos.xls',2)
PP= xlsread('datos.xls',3)
VV= xlsread('datos.xls',4)
V= xlsread('datos.xls',5)
X=[T;H;PP;VV;V];
M= xlsread ('datos.xls',6)

rpl= newff([0 1;0 1;0 1;0 1;0 1],[2 1], {'logsig','logsig'});
rpl=train (rpl,X,M);
a=sim (rpl,X)

```

Fuente: Propia del Autor.

Se puede observar que en la capa de salida se utilizó la función lineal “*purelin*”, además es necesario que las entradas y las salidas no tengan ninguna función de procesamiento de datos. Esto se tuvo que hacer porque al aplicar en los datos de los sensores el algoritmo de simulación (Figura 3.9), no se obtenían los resultados esperados, debido a que Matlab® por defecto pre procesa los datos, normalizándolos.

## Capítulo 4

# RESULTADOS, CONCLUSIONES E IMPACTOS

### 4.1. Generalidades

En el presente capítulo se encontrarán los resultados obtenidos con el prototipo del sistema de adquisición de datos meteorológicos, implementado la red neuronal propuesta para la predicción. Seguido de las conclusiones obtenidas durante el proceso y con estas determinar los posibles trabajos a futuro en el que se podría implementar.

### 4.2. Resultados

Los resultados obtenidos se adecuan a los esperados dentro del macro-proyecto de “TIC y Cambio Climático”, permitiendo plantear nuevas fases de desarrollo e implementación en la sede de alto Magdalena y Bogotá de la Universidad Piloto de Colombia.

#### 4.2.1. Datos Meteorológicos

Inicialmente, para el entrenamiento de la red neuronal se tomaron los datos de una estación meteorológica convencional, que pertenece al Servicio Meteorológico del Aeropuerto el Dorado, cuyo número de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) es 802220, y se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas  $4^{\circ}07'$  lat. Norte y  $74^{\circ}13'$  Long Oeste. El clima de la región de Bogotá se clasifica como cálido y templado con inviernos secos. La información tomada para este entrenamiento corresponden a los años 2013 y 2014 como se presentan en las tablas 1 y 2 del anexo 1.

#### 4.2.2. Análisis de los Resultados

Debido a que gran parte de la radiación solar que incide sobre la superficie de la tierra está ligada a las condiciones ambientales de la misma, es posible realizar una predicción de la radiación solar en un día determinado al conocer el comportamiento climático en dicho día. Al entrenar una red neuronal en función a las condiciones ambientales de un día particular, conociendo la radiación solar para dicho día, es posible generar un sistema de predicción a futuro que permita establecer la radiación solar.

Es de particular interés poder predecir los niveles de radiación cuando se trabaja con smartgrids, debido a que esto permite proyectar la posible generación de energía de un sistema fotovoltaico (FV), la distribución de dicha energía, la generación de nuevas estaciones de abastecimiento, el cálculo de la energía a consumir y a disponer, entre otras.

EL entrenamiento realizado en función a los parámetros de temperatura, humedad, velocidad del viento y precipitación, utilizando una red neuronal feedforward, empleo datos del año 2013 y se validó para el año 2014, obteniendo una porcentaje de precisión del 81 %.

Los resultados obtenidos permiten inferir en una buena medida la radiación para un día determinado y conocidas las posibles condiciones climáticas para el mismo. Dado que se parte de que las condiciones climáticas futuras son estimadas con un buen grado de incertidumbre, este valor de precisión se considera aceptable para realizar análisis de dimensionamiento para sistemas fotovoltaicos, los cuales también involucran un grado de incertidumbre, disminuyendo la incidencia de media de error obtenida, que corresponde a un  $\pm 16\%$ .

Como sistema de clasificación inicial se tomaron las posibles medidas en que se pueden encontrar el comportamiento de estado del clima de cuatro días, de acuerdo a las informaciones obtenidas, como se ilustra en el cuadro 4.1.

Cuadro 4.1: Posible comportamiento del clima.

T	TM	Tm	H	10.6PP	VV	V	VM
14.1	20	7	77	0	7.4	10.6	25.9
13.4	20.2	6.4	79	0	8.9	10.9	29.4
15.4	21.2	10.7	80	0	6.4	10.9	42.4
14.7	20.1	10.4	78	2.03	8.7	10.6	18.3

Donde:

T: Temperatura media ( $^{\circ}\text{C}$ )

TM: Temperatura máxima ( $^{\circ}\text{C}$ )

Tm: Temperatura mínima ( $^{\circ}\text{C}$ )

H: Humedad relativa media (%)

PP: Precipitación total de lluvia y/o nieve derretida (mm)

VV: Visibilidad media (Km)

V: Velocidad media del viento (Km/h)

VM: Velocidad Máxima sostenida del viento (Km/h)

A fin de reproducir el numero de salida, se optó por dos salidas codificadas correspondientes al comportamiento del clima diario , en el rango de 0 a 100 como se indica en el cuadro 4.2.

Cuadro 4.2: Salida de la red.

DIA	% de Radiación
1	85,7
2	85,7
3	100
4	71,4

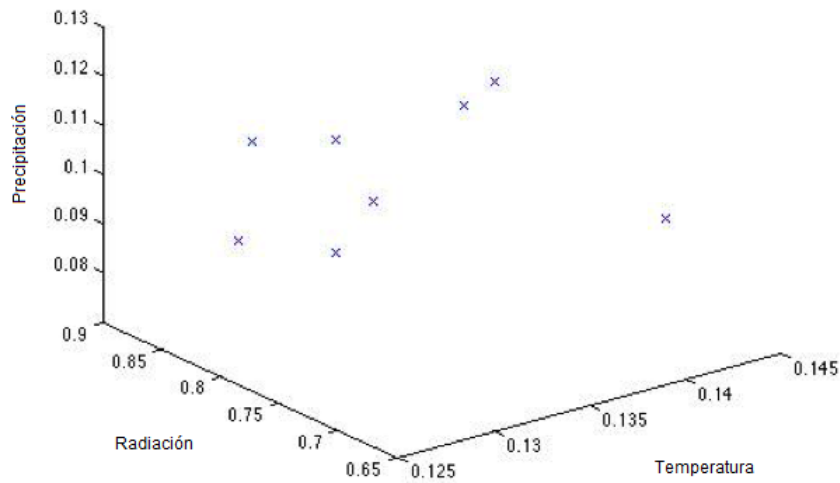
Como se mencionó, para el entrenamiento de la red se requiere formar un vector de entrada y uno de la correspondiente salida, que le permita a la red aprender. Para el caso, se toman las muestras de un mes del 2014, cuyas medidas se ilustran en cuadro 4.3. La potencia de la red neuronal se encuentra en que con los datos de entrada se pueden clasificar todas las posibles combinaciones presentes en el rango de medición del estado del clima.

Cuadro 4.3: Datos de entrenamiento

ENTRADAS								
Día	T	TM	Tm	H	PP	VV	V	VM
1	12.4	20.4	3.9	76	0	10.1	11.3	29.4
2	12.9	24	7	78	0	9.8	10.2	25.9
3	13.6	20	7.8	74	0	10.8	10.2	22.2
4	14.1	21.4	7.6	73	0	8.5	9.1	27.8
5	13.9	21.4	7	74	0	10.6	10.7	28.7
6	13.6	20.2	7	71	-	11.7	9.8	25.9
7	12.8	20.5	8	78	-	7.9	8.7	20.6
8	14.9	20	11.8	67	1.02	10.8	11.9	27.8
9	12.6	20	5.2	76	0	11.4	7.2	22.2
10	13.9	21	8	70	14.99	11.6	11.3	25.9
11	15.3	21	10.7	63	0	11.1	10.9	20.6
12	13.6	21	6.8	71	-	11.6	9.3	22.2
13	12.5	20.6	7.9	81	2.03	10.3	9.1	20.6
14	13.3	20	6.8	76	6.1	10.1	12.2	24.1
15	13.7	21	9	71	0	10	12	27.8
16	12.9	21	6	79	1.02	9.2	10.9	33.5
17	12.9	20.8	7	80	2.03	9	8.9	22.2
18	14.6	20	9.6	77	1.02	8.7	9.6	25.9
19	14.1	20	11.9	83	1.02	9.5	6.9	14.4
20	14.1	19	10.6	79	2.03	9.3	7.4	24.1
21	13.6	19.1	9	86	0	8.4	6.1	25.9
22	13.9	20	10.6	84	4.06	6.9	8	22.2
23	14.1	20	8.7	77	2.03	9.3	8.1	25.9
24	14.3	19.6	10	79	3.05	9.8	8.9	18.3
25	13.8	19.2	9	84	0	9.2	8.1	18.3
26	14.2	19	11	83	0.51	7.9	8.9	25.9
27	14.3	18.8	10	82	0	10.9	8.9	21.7
28	13.2	18.4	10.9	89	2.03	8.5	9.3	39.6

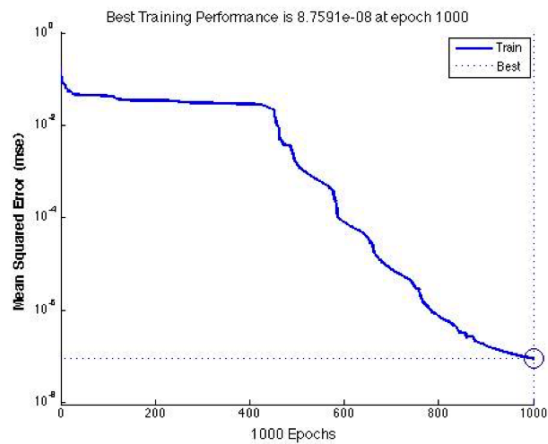
La figura 4.1 ilustra la distribución espacial de los datos utilizados, donde se resalta el comportamiento del clima como soleado.

Figura 4.1: Distribución de entrenamiento.



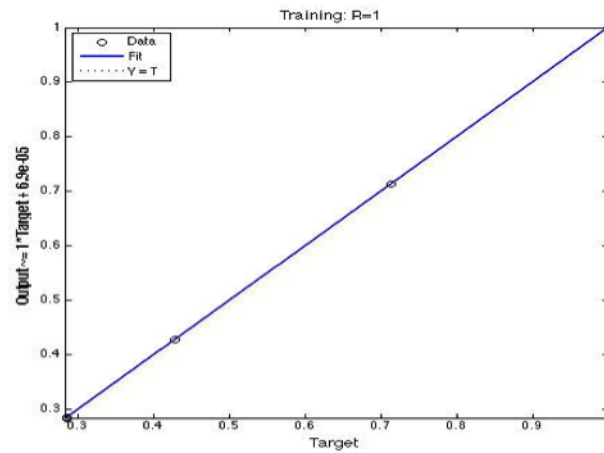
En la figura 4.2 Se ilustra el proceso de entrenamiento de la red, el cual se realiza en 1000 épocas, requiriendo unos pocos segundos para la salida esperada.

Figura 4.2: Entrenamiento de la red



En la figura 4.3se observa las líneas de clasificación obtenidas mediante las cuales la red determina el estado actual del clima, disminuyendo el espacio en los cuatro días determinados. Como era de esperarse el sistema quedo correctamente clasificado, pero para validar y cuantificar el resultado se requiere utilizar un vector de datos nuevos, es decir que no incluyan los datos del entrenamiento.

Figura 4.3: Clasificación datos de entrenamiento.



El nuevo vector compuesto por los datos del clima de todo el año 2014 se ilustra en la tabla 2 del anexo 2, y se construye con las medidas de temperatura media, humedad relativa, velocidad media del viento y radiación solar. el cuadro 4.4 presenta en su última columna la predicción de la red, donde se puede constatar que la clasificación se realizó correctamente para cada tipo en un 85 %.

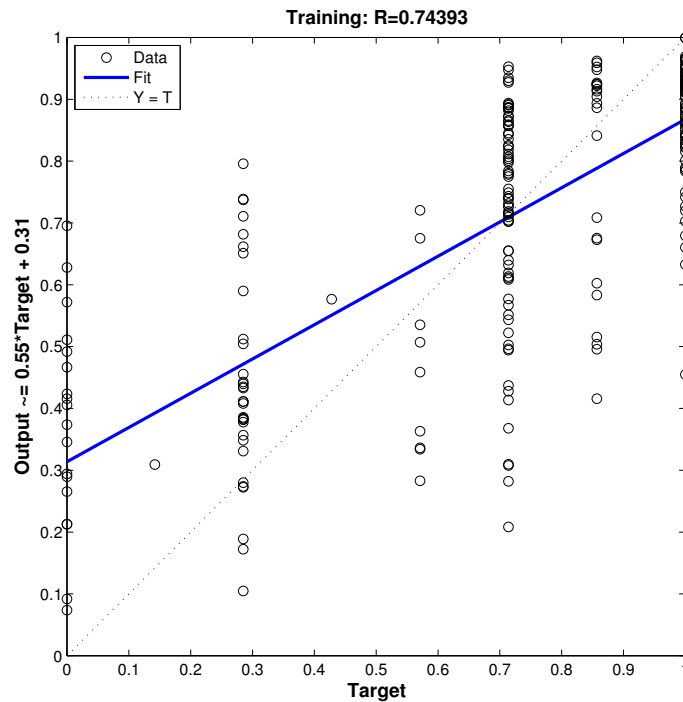
Cuadro 4.4: Datos de Validación.

Día	T	TM	Tm	H	PP	VV	V	VM	ESTADO DEL TIEMPO
1	13.8	21	7.5	62	0	11.9	12.4	22.2	SOLEADO
2	12.8	21.3	4.6	72	0	11.9	12.4	28.7	SOLEADO
3	14.1	21.3	6	69	0	11.7	12	25.9	SOLEADO
4	13.5	20.3	5.5	73	0	12.7	13	25.9	SOLEADO
5	13.4	22	7.6	74	-	12.2	12.6	27.8	LLUVIA CON TORMENTA
6	13.4	21.6	11.7	85	1.02	10.3	9.6	22.2	LLUVIA CON TORMENTA
7	13.4	18	10	85	1.02	8	7.6	18.3	LLUVIA O LLOVIZNA
8	13.2	17.5	11	90	11.94	7.9	8.5	22.2	LLUVIA CON TORMENTA
9	12.9	18.4	8.5	84	39.12	10.9	8.7	18.3	LLUVIA O LLOVIZNA
10	12.8	20.1	6	72	0	11.1	8.7	20.6	SOLEADO
11	14.2	21	9.6	70	0	9.5	9.8	32.4	TORMENTA
12	13.9	20	9.6	79	0	8.4	10	29.4	SOLEADO
13	13.2	19.6	6.8	76	0	9.3	10	25.9	SOLEADO
14	13.3	19.4	7	71	0	11.4	8.9	18.3	SOLEADO
15	13.1	20	5.9	70	0	10.1	8.3	18.3	SOLEADO
16	13.3	21	7	74	0	10	8.5	22.2	SOLEADO
17	14.3	20.7	9	68	0	10.5	11.5	28.7	SOLEADO
18	14.3	19.6	11	68	0	11.6	10.4	18.3	SOLEADO
19	15.1	20	11	67	0.25	11.9	11.3	32.4	LLUVIA O LLOVIZNA
20	13.2	22	7	69	0	12.4	11.5	22.2	SOLEADO
21	13.9	21.5	6	72	0	9.5	9.3	22.2	SOLEADO
22	14.3	19	9.9	76	-	10.1	9.1	25.9	LLUVIA O LLOVIZNA
23	13.9	20	7.8	72	20.07	10.5	12.2	29.4	LLUVIA CON NIEBLA
24	12	21	2.8	74	0	9.7	9.1	25.9	NUBLADO
25	14.5	20.7	8.7	75	1.02	9.7	8.9	25.2	LLUVIA O LLOVIZNA
26	13.3	19.7	8	83	0	8.9	9.8	18.3	NUBLADO CON LLUVIA
27	13.6	20	6.9	79	0	8.9	10	28.7	SOLEADO
28	13.2	20	8.9	74	-	11.1	9.1	22.2	LLUVIA O LLOVIZNA
29	14.2	20	7.7	75	0.76	10.3	10.4	22.2	LLUVIA O LLOVIZNA
30	14.2	20	10	75	0	10.5	8.5	25.9	SOLEADO
31	14.7	20.4	10	71	0	10	9.8	25.9	SOLEADO

Debido a que gran parte de la radiación solar que incide sobre la superficie de la tierra está ligada a las condiciones ambientales de la misma, es posible realizar una predicción de la radiación solar en un día determinado al conocer el comportamiento climático en dicho día. Al entrenar una red neuronal en función a las condiciones ambientales de un día particular, conociendo la radiación solar para dicho día, es posible generar un sistema de predicción a futuro que permita establecer el comportamiento del clima.

EL entrenamiento realizado en función a los parámetros de temperatura, humedad, velocidad del viento y precipitación, utilizando una red neuronal feedforward, empleó datos del año 2013 y se validó para el año 2014, obteniendo una porcentaje de precisión del 81 % al 85 % como se presenta en la figura 4.4.

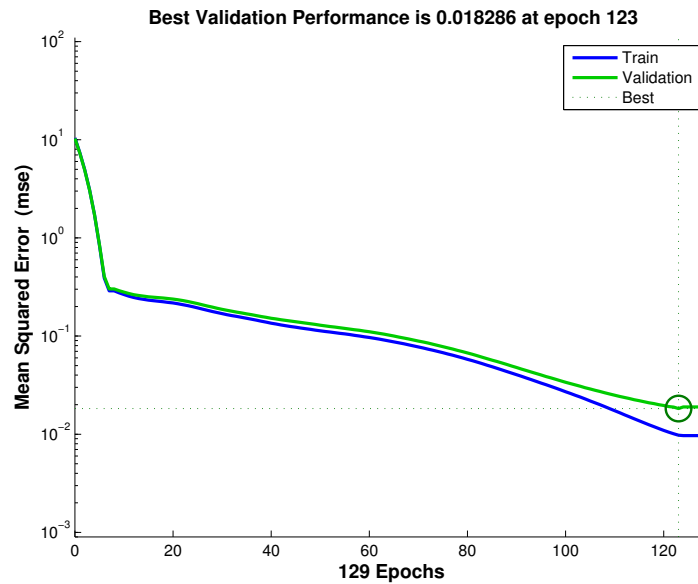
Figura 4.4: Sistema de clasificación de la red neuronal .



Los resultados obtenidos permiten inferir en una buena medida la radiación para un día determinado y conocidas las posibles condiciones climáticas para el mismo. Dado que se parte de que las condiciones climáticas futuras son estimadas con un buen grado de incertidumbre, este valor de precisión se considera aceptable para realizar análisis de dimensionamiento para sistemas fotovoltaicos, los cuales también involucran un grado de incertidumbre, disminuyendo la incidencia de media de error obtenida, que corresponde a un  $\pm 16\%$ .

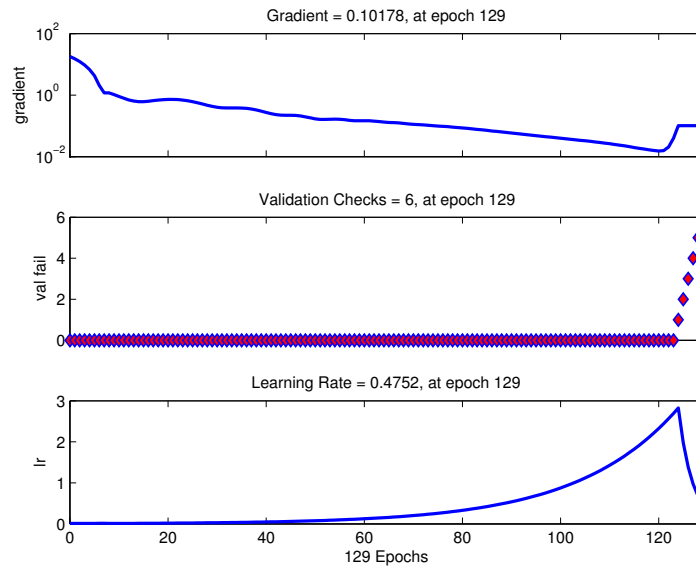
La figura 4.5 muestra error cuadrático durante el proceso de entrenamiento de la red neuronal, en la que se puede observar los datos implementados para el entrenamiento, los cuales se representan por medio de la franja azul, mientras que la franja verde simboliza los datos de validación, en donde se determinó un que el porcentaje de error del 1,83 % luego de pasadas 123 épocas.

Figura 4.5: Test de validacion del entrenamiento de la RNA.



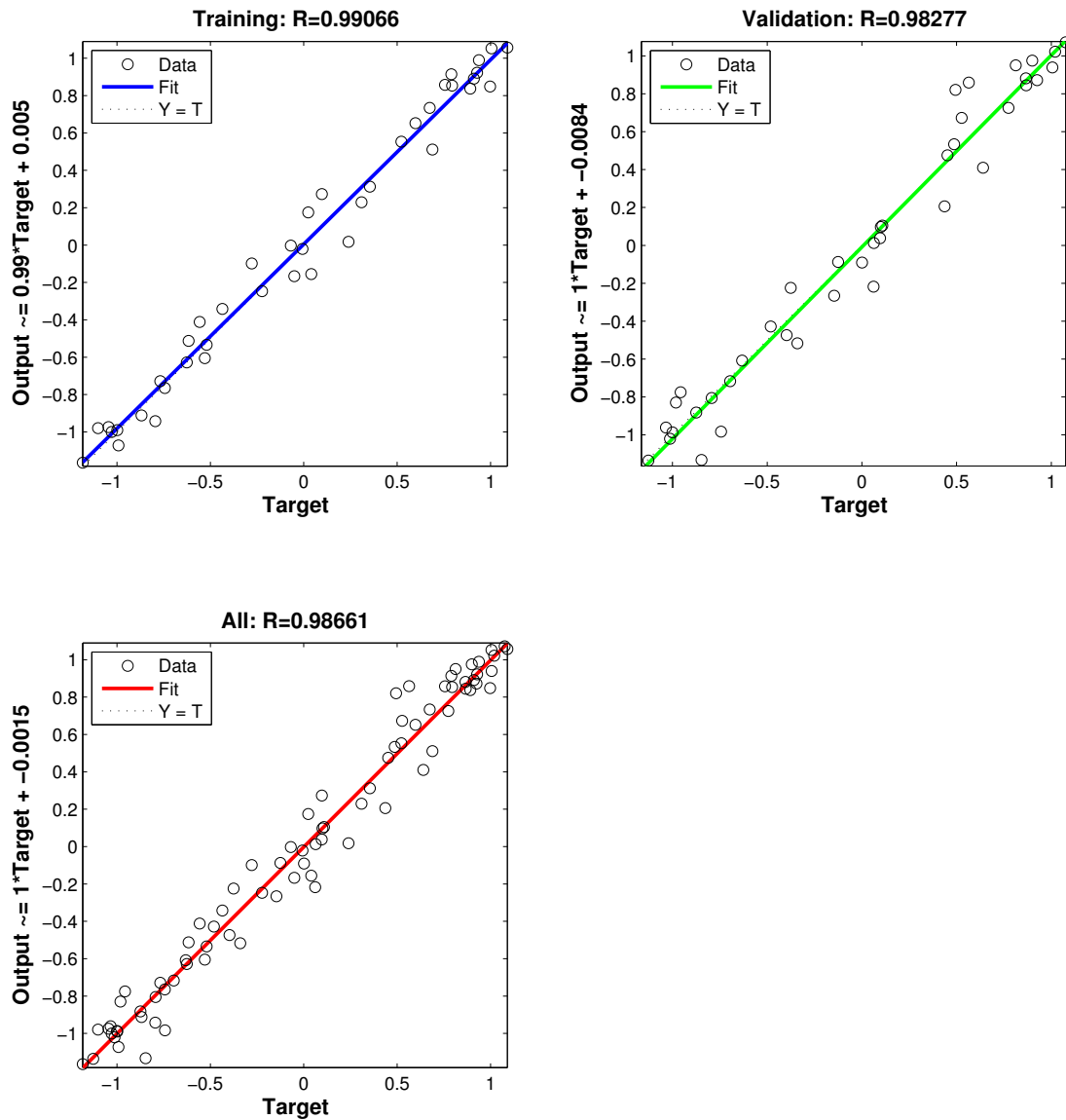
En la figura 4.6 muestra la relación entre error y el proceso de aprendizaje de la RNA, ya que el gradiente del error se minimiza acorde al número de iteraciones, es decir que a mayor número de épocas el gradiente del error será cada vez menor, aunque en algunos se muestran épocas que en la salida del proceso de predicción se encuentra alejada de los datos reales, sin embargo la RNA se encarga de compararlos y retomar la minimización del error de la predicción. Del mismo modo este proceso de comparación y reducción del error es inversamente proporcional a la velocidad de aprendizaje, pues este algoritmo está constantemente modificando sus pesos, aún cuando se haya finalizado la etapa de entrenamiento. Además también se puede determinar la precisión con la que actúa, por ejemplo a 129 épocas o iteraciones 123 fueron correctas, por lo que la red neuronal tiene una precisión de 0.9535 (de acuerdo a la ecuación [7]), es decir que funciona con un 95.35% de exactitud sobre sus predicciones, pero como anteriormente se ha dicho, esta red está en continuo entrenamiento por lo que a mayor número de épocas la precisión de esta cada vez se va aproximando más al 100%.

Figura 4.6: Relación del error y aprendizaje de la RNA



Mientras que en la figura 4.7 se observa el comportamiento según la salida de la RNA dependiendo de los datos implementados, es decir la primera gráfica representa la implementación de los datos de entrenamiento y como se representa su salida, donde cada dato próximo a la franja azul implicará que es la probabilidad que sea un día soleado son mayores, mientras que entre más lejos este de la franja significará que es muy probable que llueva o se tenga un día nublado según qué tan lejos se encuentre. De igual forma sucede con la gráfica de validación, solo que en este caso son los datos implementado luego del entrenamiento de la RNA. Y finalmente se encuentra la gráfica que relaciona los dos tipos de datos, tanto los de entrenamiento como los de validación en donde el porcentaje de asertividad es del 98.66 %.

Figura 4.7: Confiabilidad del entrenamiento de la RNA.



### 4.3. Conclusiones

Con el estudio de las variables meteorológicas se logró establecer la cantidad de módulos necesarios para obtener una predicción mas cercana a la realidad, y con ello determinar cada sensor, bajo características esenciales, tales como, que sean de bajo costo, de alta fiabilidad, respuesta rápida (aproximada a tiempo real), adaptabilidad al diseño y un grado adecuado de protección IP.

La estructura mecánica se desarrolló pensando en la sencillez del ensamble y mantenimiento, para el usuario o el técnico encargado y con ello permitir el fácil acceso a los módulos del "Sistema Local", y

así poder realizar las reparaciones, configuraciones, calibraciones y si es necesario los cambios respectivos para el correcto funcionamiento del sistema de adquisición, de acuerdo a la zona de estudio.

Con el desarrollo del algoritmo basado en redes neuronales se logró alcanzar una aproximación a las predicciones climáticas presentadas por el IDEAM, luego de realizar el entrenamiento con una base de datos presentadas por la estación meteorológica ubicada en el El Aeropuerto El Dorado.

La información recolectada por los sensores implementados permiten generar bases de datos que permiten caracterizar el estado del clima en determinada zona urbana.

En la actualidad existen diversos centros meteorológicos en el país, tales como el IDEAM, los aeropuertos o centros conformados por asociaciones Agropecuarias Departamentales, donde sus estudios son más regionales, por lo que generalmente no pueden determinar los subclimas presentes en zonas más pequeñas de la región, afectando a parte de la población de la misma. Aún así se han ido desarrollando sistemas climáticos predictivos, pero de difícil acceso, debido a los altos costos, tanto de adquisición, como de mantenimiento.

#### 4.4. Trabajos Futuros

Los trabajos futuros que se plantean con la plataforma desarrollada son:

La implementación de más sensores o modificar la existencia de algunos, para dotar al sistema de mayor capacidad para recolectar y usar datos, con el fin de mejorar «el sistema de predicción del comportamiento climático».

Debido a que actualmente la red neuronal se entrena para realizar predicciones a corto plazo (sobre el día actual), esta podría ser implementada mediante un sistema más robusto con el fin de añadirle la función de realizar predicciones a dos días o más, siguientes de acuerdo a la información recolectada.

Tomando como base la necesidad de disminuir el costo energético se pueden realizar pruebas con redes de menos neuronas, con el fin de comparar la precisión de los resultados con respecto a la red actual, en caso de aproximar las predicciones, podría modificarse el algoritmo para obtener resultados similares con menos costos de procesamiento.

Esta herramienta es un sistema útil para los estudios desarrollados en el semillero de energías renovables de la facultad de ingeniería mecatrónica ya que proporciona datos que pueden ser implementados en el estudio estadístico del clima y la caracterización de sensores de bajo costo en aplicaciones que prevean los riesgos del calentamiento global.

# Bibliografía

- [1] Rna - redes neuronales artificiales, abril 2011.
- [2] Jorge Arturo Angel Ramos and Antonio Sarmiento Sera. Utilización de la escala beaufort en la determinación del potencial eólico. *Ingeniería Energética*, XXV(1):13–17, 2004.
- [3] Anónimo. Abuso de energía eléctrica causa daños al medio ambiente. *Semana Sostenible*, 2012.
- [4] AOSONG. *Temperature and humidity module AM2302 Product Manual*. Aosong (Guangzhou) Electronics Co., Ltda.
- [5] H. Basilo Sierra Araujo. *Aprendizaje automático conceptos básicos y avanzados*, page 101. Pearson, 2006.
- [6] Ernesto Palo Tejadaa; Edy Cuevas Arizaca. Anemómetro con sistema de almacenamiento de datos.
- [7] Juan Botía Blaya. Herramientas de minería de datos: Weka (waikato for knowledge analysis). November 2007.
- [8] J. Boshell. Informe de consultoría: Gestión de información agroclimática en Colombia. Technical report, Programa Adaptación al Cambio Climático en la Region Andina., 2012.
- [9] Reymond Chang and Williams College. *QUÍMICA*, chapter Capitulo 5: Gases, pages 153–179. 2012, 2002.
- [10] Obdulio Coca Rodríguez. Daños del viento en zonas urbanas. 2001.
- [11] Colombia. *Diario Oficial del Congreso*, chapter Ley 99 de 1993. Ley Nacional Ambiental. El Congreso de Colombia, 1993.
- [12] Colombia. *Diario Oficial del Congreso*, chapter Ley 164 de 1994. Convención de Cambio Climático. El Congreso de Colombia, 1994.
- [13] Colombia. *Diario Oficial del Congreso*, chapter Ley 629 de 2000. Protocolo de Kyoto. El Congreso de Colombia, 2000.
- [14] Colombia. *Diario Oficial del Congreso*, chapter Ley 697 de 2001. Eficiencia Energetica. El Congreso de Colombia, 2001.
- [15] Colombia. *Diario Oficial del Congreso*, chapter Ley 1715 de 2014. El Congreso de Colombia, 2014.
- [16] C. Souza; E. Pizzolato; R. Mendes; A. Borghi-Silva; M. Machado; P. Correa. Artificial neural networks prognostic evaluation of post-surgery complications in patients underwent to coronary artery bypass graft surgery. In *Machine Learning and Applications*, pages 799,803, 13–15. ICMLA '09. International Conference on, December 2009.
- [17] María de Lourdes Cortés and Rigoberto Gariba. Instrumentacion y control. Technical report, INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL- Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, 2010.

- [18] E.M. Petriu; A.M. Cretu. Biology-inspired artificial neural network solutions for android control. In *Medical Measurements and Applications Proceedings (MeMeA)*, pages 145, 150,. IEEE International Symposium on, May 2013.
- [19] República de Colombia. Ministerio del Medio Ambiente. Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. *Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2010.
- [20] Organización Panamericana de la Salud. Conceptos básicos sobre la meteorología de la contaminación del aire. Technical report, Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental (BVSDE), 2005.
- [21] Carlos Ocaña Pérez de Tudela. El impacto del protocolo de kyoto sobre la economía española. *Cátedra SAMCA de Regulación y Competencia de la Universidad de Zaragoza*, 2003.
- [22] EG3 Deliverable. Expert group 3: Roles and responsibilities of actors involved in the smart grids deployment. Technical report, EU Commission Task Force for Smart Grids, 2011.
- [23] Carlos Díaz and Juan Hernández. Smart grid: Las tics y la modernización de las redes de energía eléctrica- estado del arte. *S&T*, 9(18):53–81, 2011.
- [24] Daniel F. Díaz, Jorge W. Gonzalez, Hugo A. Cardona, Idi A. Isaac, and Gabriel J. López. Esquema de incorporación de las smart grids en el sistema de potencia colombiano. *Investigaciones Aplicadas*, 5(1):21–26, Enero- Junio 2011. ISSN 2011-0413.
- [25] Daniel F. Díaz Toro. Estandarización, impactos y beneficios de los protocolos de comunicación de las smart grids. Technical report, Universidad Pontificia Bolivariana, 2013.
- [26] Jesús Estrada Villegas. La radiación en la vida cotidiana y laboral. BELT IBÉRICA S.A.
- [27] Lou Haichuan; Su Hongye; Xie Lei; Gu Yong; Rong Gang. Multiple-prior-knowledge neural network for industrial processes. In *Automation and Logistics (ICAL)*, pages 385,390. 2010 IEEE International Conference on, August 2010.
- [28] M. M. González and A. Baille. Lectura complementaria parte ii. el aire húmedo y cálculo de las variables que determinan su estado. Technical report, Universidad Politécnica de Cartagena. España, 2007.
- [29] R.F. Halpin, S.M.; Burch. Applicability of neural networks to industrial and commercial power systems: a tutorial overview. In *Industry Applications*, pages 1355,1361. September/ October, IEEE Transactions on, 1997.
- [30] Juan José Hernández Adrover, José Rodríguez Fernández, and Josep Sanz Argent. *TRANSMISIÓN DE CALOR PARA INGENIEROS*. Ediciones de la Universidad de Castilla. La Mancha, 2010.
- [31] Texas Instruments. *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensor*. Texas Instruments Incorporated, Agosto 1999-2013.
- [32] Texas Instruments. *LMx93, LM2903-N Low Power, Low- Offset, Dual Comparators*. Texas Instruments Incorporated, Octubre 1999-2014.
- [33] Javier Botia; Henry Sarmiento; Claudia Isaza. Redes neuronales artificiales de base radial comoclasificador difuso: Una aplicación en diagnóstico médico. In *I CONGRESO INTERNACIONAL DE INSTRUMENTACIÓN, CONTROL Y TELECOMUNICACIONES- CICT 2009*, 2009.
- [34] Eduardo José Villegas Jiménez. Diseño de un anemómetro basado en el efecto piezoresistivo. Diciembre 2008.
- [35] Sandra Kahan. MÓdulo: Aire húmedo. Technical report, Universidad de la República. Uruguay, 2004.
- [36] PEDRO JAVIER OBREGÓN LECHE. Diseño de una anemógrafo electrónico. Julio 2005.

- [37] M. Paz Sesmero Lorente. *Diseño, Análisis y Evaluación de Conjuntos de Clasificadores basados en Redes de Neuronas*. PhD thesis, UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID, Septiembre 2012.
- [38] Damián Jorge Matich. *Redes neuronales: Conceptos básicos y aplicaciones*. Technical report, Universidad Tecnológica Nacional, Marzo 2001.
- [39] Fernando Montealegre. *CLIMATOLOGÍA*, chapter CAPITULO 5: EL VIENTO. Universidad Nacional de Colombia- Sede Palmira, 2013.
- [40] S. Murugappan, M.; Murugappan. Human emotion recognition through short time electroencephalogram (eeg) signals using fast fourier transform (fft). In *Signal Processing and its Applications (CSPA)*, pages 289,294, 8–10. IEEE 9th International Colloquium on, March 2013.
- [41] Naciones Unidas. *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de Las Naciones Unidas Sobre El Cambio Climático*, volume FCCC/INFORMAL/83, GE.05-61702 (S), 130605 of 130605, 1998.
- [42] Jungme Park; Dai Li; Y.L. Murphey; J. Kristinsson; R. McGee; Ming Kuang; T. Phillips. Real time vehicle speed prediction using a neural network traffic model. In *Neural Networks (IJCNN)*, pages 2991,2996. The 2011 International Joint Conference on, June 2011.
- [43] Rosa María Rodríguez, Águeda Benito Capa, Adelaida Portela, Francisco Martín, José Quirantes, and Florenci Rey. *METEOROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA*, chapter ¿QUÉ ES LA METEOROLOGÍA?, pages 6–12. Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, 2004.
- [44] Rosa María Rodríguez, Águeda Benito Capa, Adelaida Portela, Francisco Martín, José Quirantes, and Florenci Rey. *METEOROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA*, chapter EL CLIMA DE NUESTRO PLANETA, pages 60–73. Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, 2004.
- [45] s. Das; D. P. Das; S. K. Behera. Enhancing the linearity of lvdft by two-stage functional link artificial neural network with high accuracy and precision. In *Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, pages 1358,1363. 2013 8th IEEE Conference on, June 2013.
- [46] M.G.B.A. Amsa; A. M. Aibinu; M.J.E. Salami. Application of intelligent technique for development of colpitts oscillator. In *Business Engineering and Industrial Applications Colloquium (BEIAC)*, pages 617,622. IEEE, April 2013.
- [47] M. Stoica; G.A. Calangiu; F. Sisak; I. Sarkany. A method proposed for training an artificial neural network used for industrial robot programming by demonstration. In *Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM)*, pages 831,836. 2010 12th International Conference on, May 2010.
- [48] Horacio E. Sarochar. *Introducción a la meteorología general*. Technical report, UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA- Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, 2013.
- [49] Christos Stergiou and Dimitrios Siganos. *Neural networks*.
- [50] W.H. Rankothge& D.M.S.B. Dissanayake & U.V.K.T. Gunathilaka & S.A.C.M. Gunarathna & C.M. Mudalige& R.P. Thilakumara. Plant recognition system based on neural networks. In *Advances in Technology and Engineering (ICATE)*, editors, *Advances in Technology and Engineering (ICATE)*, pages 1,4,23–25. IEEE International Conference on, January 2013.
- [51] Daniel Fernando Valencia Zuluaga. *Diseño y construcción de un sistema de adquisición de la temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento para la evaluación del potencial micro-eólico*. Master's thesis, Universidad San Buenaventura- Cali, 2013.
- [52] Cheung Ho Yingg. *Hardwitten chinese character recognition*. *Depart. Of Electrical and Computer Enginner. University od Queensland*, October 1999.
- [53] T. Zhao-Hui Jiang; Ishida. Trajectory tracking control of industrial robot manipulators using a neural network controller. In *Systems, Man and Cybernetics*, pages 2390,2395. 2007. ISIC. IEEE International Conference on, October 2007.

# ANEXOS

## Anexo 1. Datos Meteorológicos

Los datos recolectados se obtiene de acuerdo a las siguientes variables:

T: Temperatura media ( $^{\circ}\text{C}$ )

TM: Temperatura máxima ( $^{\circ}\text{C}$ )

Tm: Temperatura mínima ( $^{\circ}\text{C}$ )

H: Humedad relativa media (%)

PP: Precipitación total de lluvia y/o nieve derretida (mm)

VV: Visibilidad media (Km)

V: Velocidad media del viento (Km/h)

VM: Velocidad Máxima sostenida del viento (Km/h)

TABLA 1. DATOS METEREOLÓGICOS CORRESPONDIENTES AL AÑO 2013

MES	Día	ENTRADAS								SALIDA
		T	TM	Tm	H	PP	VV	V	VM	% RADIACION
ENERO	1	13.2	20.3	5.4	60	0	11.9	11.3	21.7	100
	2	12.8	21	4.3	60	0	13.5	12	22.2	100
	3	12.6	20.6	4	66	0	13.2	9.8	25.2	85,7
	4	12.9	21	5.2	70	0	12.1	9.6	22.2	85,7
	5	13.3	21.1	4	65	0	12.4	10.6	22.2	85,7
	6	12.6	21.2	3.4	63	0	12.1	11.5	25.9	85,7
	7	11.3	21	1	62	0	12.4	11.7	29.4	85,7
	8	12.1	21	3.5	64	0	12.7	13.9	28.7	100
	9	12.8	19.3	5	67	0	13.2	14.1	33.5	100
	10	14.6	22	8.4	66	0	13.4	13.7	35.9	100
	11	11.2	22.2	0.7	68	0	10.8	9.3	22.2	85,7
	12	13.4	19.4	6	74	0	10.3	9.1	25.2	85,7
	13	14.2	20	9.8	80	-	9.2	12.6	27.8	0
	14	14.3	21	10	80	0	7.1	10.6	29.4	85,7
	15	14.1	20	7	77	0	7.4	10.6	25.9	85,7
	16	13.4	20.2	6.4	79	0	8.9	10.9	29.4	85,7
	17	14.5	21.2	10.7	80	0	6.4	11.9	42.4	100
	18	14.7	20.1	10.4	78	2.03	8.7	10.6	18.3	71,4
	19	13.4	20.5	4.8	74	0	6.3	9.3	24.1	85,7
	20	13.2	20.5	4.8	72	0	11.7	10.4	25.9	85,7
	21	14.4	21	9.4	71	0	11.9	10.2	25.2	100
	22	13.9	22	4.1	76	0	9.2	7.8	20.6	85,7
	23	14.3	22.4	6	76	0	11.3	10.2	25.2	100
	24	14.3	21	6	73	0	12.2	8.9	25.9	85,7
	25	15.7	21	12.8	76	0	8.4	8.9	24.1	0
	26	14.6	21	9.5	77	19.05	11.6	9.1	25.2	71,4
	27	12.7	21.4	3.7	78	0	10.3	8.7	22.2	85,7
	28	14.4	22	6.6	60	0	12.2	11.7	25.2	100
	29	13.3	22	3	66	0	11.3	8.3	22.2	100
	30	13.3	22.3	4.3	74	0	12.4	9.4	18.3	85,7
	31	14.3	22.3	5.7	73	-	13	12.4	37	71,4
FEBRERO	1	13.7	21.5	9	79	1.02	11.4	8.9	25.2	71,4
	2	14.1	20	9.8	77	0	11.4	8.1	22.2	100
	3	13.8	21.1	5.5	76	-	10.3	8.5	24.1	0
	4	13.7	20	8	82	0	9.5	10.4	25.9	0
	5	13.8	20.2	10.5	84	43.94	7.4	9.8	25.9	0
	6	14.3	20	11	84	9.91	8.2	8.3	28.7	0
	7	14.6	20	10.6	78	0	7.6	10.2	24.1	71,4

	8	14.8	20	11	80	2.03	10.9	8.5	18.3	28,5
	9	14.3	20.3	11.8	82	80.01	10	10	28.7	28,5
	10	13.3	20.3	9.4	84	0.51	10.1	8.7	22.2	28,5
	11	12.6	19	9	86	32	7.4	5.9	14.4	0
	12	14.1	19.1	9.4	80	12.95	9.7	7.8	24.1	57,1
	13	13.3	19.1	6.6	76	0	9.3	11.3	24.1	0
	14	12.4	19.2	6.7	82	6.1	9	9.8	21.7	57,1
	15	14.4	19	7.7	72	0	10	9.8	25.9	100
	16	13.2	20	7	72	0	11.9	9.3	22.2	85,7
	17	12.6	19.7	9	84	0	9.5	8	21.7	57,1
	18	13.5	18.2	11	80	0	12.1	8.7	18.3	71,4
	19	13.8	19	7.8	68	0	12.6	11.1	55.4	100
	20	14.4	20	9	64	0	12.7	12.2	24.1	100
	21	14.1	19.8	10	72	2.03	12.1	11.3	18.3	71,4
	22	14.3	19	9	71	0	12.7	11.5	21.7	100
	23	14.4	20	8.1	69	0	13.4	10.6	22.2	100
	24	14.8	20	10.7	74	0.51	11.7	10	21.7	71,4
	25	14	19.4	10.5	74	0	12.7	9.8	22.2	100
	26	13	20	5.5	71	0	12.9	9.6	33.5	100
	27	14.9	19.8	10.8	70	0	12.9	13.7	25.9	100
	28	15.1	19.4	10	71	-	13	9.3	18	71,4
MARZO	1	14.2	18.6	8.1	77	0.76	12.7	11.5	25.9	71,4
	2	14.3	21	9	65	0	13.2	13.3	22.2	100
	3	12.7	20.5	6.7	72	0	13.4	8.9	18	100
	4	13.4	18.3	10.7	83	1.02	11.9	8.3	18	71,4
	5	15.5	20	10.9	66	0.25	12.9	11.1	24.1	100
	6	16	20	11.1	64	0	12.4	13.3	25.9	100
	7	15.3	21	10.8	70	0	13	13.7	24.1	100
	8	14.6	21.3	9	72	0	12.2	11.5	29.4	100
	9	15.1	19.8	12	71	0	13.4	10.7	27.8	100
	10	13.3	19.6	6.2	77	39.88	12.6	12.4	27.8	85,7
	11	12.8	22	4.6	75	-	12.1	12.2	29.4	71,4
	12	13.8	21.6	9.5	77	0	11.4	7	14.4	100
	13	14.7	20	8	70	0	12.4	9.1	16.5	100
	14	14.1	20	9	79	0	11.7	8	16.5	100
	15	13.8	16	12	87	4.06	9.7	10.7	22.2	71,4
	16	13.9	20.4	8.6	78	0	10.8	12.4	35.9	100
	17	14.4	20.4	11	82	3.05	9.8	8	22.2	0
	18	14.1	20	10.1	79	0.76	10.6	8.3	25.2	28,5
	19	14.4	20.2	11	83	0.25	11.6	9.8	21.7	28,5
	20	15.1	20.3	9.8	76	10.92	11.3	10.4	25.9	85,7

	21	14.7	20.3	10.5	83	0	9.8	10.2	27.8	0
	22	14.1	20.2	11	84	22.1	10.8	8.5	25.2	28,5
	23	12.7	18.4	8	83	11.94	8.7	7.2	18	71,4
	24	13.8	19.4	6	73	0	12.4	8.7	18	85,7
	25	13.8	21	5.9	78	0	11.7	8.5	25.9	0
	26	14.4	21.4	7.6	76	-	10.9	12.8	25.9	0
	27	13.4	21.4	4.8	65	3.05	12.6	11.9	28.7	100
	28	14.2	22.4	9	76	0	12.6	11.3	27.8	28,5
	29	13.1	22.4	7.9	78	0.76	12.9	9.3	25.9	100
	30	14.6	19.1	10.9	71	0	12.9	13	22.2	100
	31	14.9	19.2	11.6	71	0	12.1	13.3	25.9	100
ABRIL	1	14.2	20	9	71	0	13.2	13.5	29.4	100
	2	14.4	19.6	8.4	71	0	13.2	9.6	18.3	100
	3	13.4	21	7	79	-	11.4	8.7	25.2	71,4
	4	15.1	22	9.7	73	0.51	10.5	10.9	21.7	85,7
	5	14.4	21.6	8	77	0	10.9	10	21.7	28,5
	6	14.5	21.7	9	79	4.06	9	8.1	29.4	0
	7	15.3	22	7.9	71	0.76	9.7	11.7	25.9	100
	8	14.1	22	7	75	0	9.5	16.9	75.6	100
	9	14.9	22	9.5	67	0	11.9	13	22.2	100
	10	15.2	21	10	69	-	10.8	11.1	25.2	71,4
	11	13.6	21.6	8.6	78	0	7.6	8	25.9	0
	12	14.4	21.6	8	74	2.03	8.5	9.1	25.2	57,1
	13	15.3	20.6	10	67	0	11.3	14.1	24.1	100
	14	15.1	21	11	71	0.76	12.7	11.3	24.1	71,4
	15	15.1	20.6	12.4	75	0	11.4	10.2	22.2	71,4
	16	15.7	21	11	70	4.06	13.2	12.2	25.9	71,4
	17	14.7	21	10.6	74	0	12.6	10	18	100
	18	15.1	20.4	8.7	75	0	12.6	10.4	27.8	28,5
	19	12.9	20.3	11	88	24.89	9.7	7.6	24.1	28,5
	20	13.3	18.2	10.6	85	25.91	9.5	10.9	77.8	28,5
	21	13.3	18.2	11.7	87	26.92	10.9	5.6	22.2	28,5
	22	14	19	8.8	81	6.1	9.8	9.8	35.2	14,2
	23	14.2	19	10.8	80	0	9.7	9.4	25.9	28,5
	24	14.7	18.2	11.8	77	2.03	11.4	8.3	18.3	71,4
	25	14.6	19	11.9	78	0	11.3	8.3	22.2	71,4
	26	13.8	20.8	7.8	76	3.05	12.2	9.6	25.2	28,5
	27	13.7	20.8	5	77	7.87	8.5	9.8	27.8	0
	28	14.3	20.1	10	78	0	11.7	10.4	29.4	28,5
	29	13.8	19.4	10	82	3.05	11.3	8.1	18.3	71,4
	30	14.1	18.5	11	82	4.06	11.3	8.9	18	28,5

MAYO	1	14.2	18	11.9	83	17.02	11.7	8.7	18.3	28,5
	2	14.5	19	11.7	79	5.08	12.6	8.5	20.6	42,8
	3	14.3	21	11.8	80	0	12.7	8.1	18.3	28,5
	4	15	22	9.6	75	0.76	11.6	10.4	31.3	100
	5	14.2	21.5	11	81	1.02	10.8	7.8	22.2	28,5
	6	13.9	20	10.9	82	0	12.4	7.8	22.2	28,5
	7	12.4	19.5	9.7	85	2.03	9.2	8.1	35.9	57,1
	8	14.2	20.2	10	75	6.1	12.1	11.7	25.9	57,1
	9	14.6	20.2	11	76	1.02	12.9	9.1	18.3	71,4
	10	14.6	19.2	9.7	78	2.03	12.1	11.1	22.2	71,4
	11	14.3	19	8	79	0	10	10.6	27.8	28,5
	12	14.6	21	7.5	71	4.06	10.9	9.6	29.4	71,4
	13	14.6	20.8	10.7	73	0	12.1	10.7	18.3	100
	14	15.1	19.6	2.7	71	0	12.4	10.7	22.2	71,4
	15	14.3	19.3	11	82	0.25	12.1	9.6	22.2	28,5
	16	14.3	19	11.5	82	3.05	12.9	8.7	18	100
	17	14.1	19	11.9	84	9.91	10.3	8.1	18	71,4
	18	14.7	19	10.3	74	4.06	11.6	9.6	18.3	100
	19	15.6	20	11.6	71	0.51	12.7	12.6	32.4	71,4
	20	14.7	20.2	11	74	0.51	12.4	10	22.2	100
	21	13.7	18.4	10.9	85	0	10.5	9.4	18.3	28,5
	22	13.5	17	11.4	88	25.91	8.9	8	18.3	0
	23	13.8	20	10.8	84	17.02	11.1	8	20.6	28,5
	24	13.7	20.1	11	85	7.87	8.9	8.7	25.9	71,4
	25	14.8	22	9.7	71	0	12.9	11.1	24.1	100
	26	13.5	20.4	11	80	0.51	11.7	9.3	22.2	71,4
	27	12.8	18	7	79	0.76	12.4	10.4	20.6	71,4
	28	13.6	18.1	10.8	78	0.76	12.1	12.6	28.7	71,4
	29	12.9	19.4	8	84	1.02	11.7	5.9	18.3	28,5
	30	13.2	19.4	7	80	1.02	10.8	8	18.3	57,1
	31	14.1	18	10.5	78	4.06	11.7	9.8	18.3	71,4
JUNIO	1	12.4	18.3	6.9	84	2.03	11.1	7.8	25.9	0
	2	13.9	19	9.6	75	0	12.6	11.3	28.7	71,4
	3	13.6	19.2	7.1	75	0.25	12.9	10.9	28.7	71,4
	4	14	19	9.5	64	0	12.7	15.2	37	100
	5	13.6	19.2	8.8	66	0	13.7	11.7	18.3	100
	6	12.6	19.1	6.7	73	0	13.2	11.3	22.2	100
	7	14	18.7	9	76	0.25	11.9	11.3	22.2	71,4
	8	14.2	19	9.7	68	0.51	13.4	16.1	33.5	100
	9	14.1	19	7	64	0	13.8	15.2	32.4	100
	10	14.2	20	9	68	0	12.6	13.5	29.4	71,4

	11	14.3	20	8.6	68	0	12.4	10.9	22.2	100
	12	14.6	19.5	10	74	3.05	12.2	10.4	18.3	71,4
	13	14	19	9	76	0.51	12.6	6.5	14.8	71,4
	14	14	19.9	7	71	2.03	12.4	11.1	25.2	100
	15	14.3	20	9	72	0	12.2	10.9	31.3	100
	16	15	21	8.4	66	1.02	12.1	13.3	25.9	71,4
	17	14.5	22	8.7	70	0	13	10.2	25.9	100
	18	15.1	21.5	9.5	66	0	12.9	14.1	27.8	100
	19	14.2	19.8	11	69	0	13	14.1	22.2	100
	20	14.1	19	10	68	0	13.5	13.7	27.8	100
	21	12.7	18.7	7.6	75	0	13	10	22.2	100
	22	14.1	20.4	6.7	67	0	12.9	12.4	25.2	100
	23	14.8	20.4	10.1	65	0	13.4	13	28.7	100
	24	14.9	20	10.8	69	0.25	11.9	12.2	22.2	71,4
	25	13.7	20	9.6	78	2.03	11.6	9.6	27.8	28,5
	26	14.7	21	8.9	73	9.91	12.7	11.9	25.2	71,4
	27	13.5	20.8	7	71	0	13.4	11.9	29.4	100
	28	14.3	19.9	10.6	69	0	11.7	12.6	29.4	100
	29	12.5	19.8	6	78	-	11.9	10.2	28.7	71,4
	30	13.1	19.8	8	83	2.03	9.5	9.4	21.7	57,1
ΟΙΚΤΙ	1	12.7	16	10.4	81	9.91	11.6	7.8	16.5	71,4
	2	12.6	18.3	8	74	7.87	12.6	11.3	25.9	71,4
	3	11.8	20	3	67	0.51	12.4	10.7	25.2	85,7
	4	12.5	20	5.7	74	0	9	7	21.7	100
	5	12.6	20.2	8	75	0	11.9	9.1	18.3	100
	6	13.7	19	9	64	0	12.6	13.1	29.4	100
	7	12.4	19.7	5.6	69	0	13.2	11.7	29.4	100
	8	14.6	20	8	59	0	13	15.4	35.9	100
	9	12.9	19.8	7	69	1.02	12.4	13.9	29.4	71,4
	10	12.6	18.7	9	76	0.51	13	11.5	37	71,4
	11	13.7	18.1	10	69	4.06	11.4	13.7	28.7	71,4
	12	13.4	18	7.7	66	3.05	12.4	12.8	25.9	71,4
	13	12.6	18	5	63	0	13	11.1	21.7	100
	14	13.4	20	7	67	0	13.4	9.3	22.2	100
	15	13.9	20.1	10.5	74	5.08	12.7	11.1	27.8	71,4
	16	14	19	8.7	72	0.51	12.2	13	27.8	71,4
	17	14	18.5	10.3	70	0.51	13.2	15	29.4	100
	18	13.6	18.8	7.9	67	0	12.9	11.1	21.7	100
	19	13.3	18.8	9.6	68	0	12.9	10.9	21.7	71,4
	20	12.8	18	8	71	0	12.4	13	32.4	71,4
	21	13.7	19	9	70	6.1	12.6	13	29.4	71,4

	22	14.5	19.4	8	66	0	12.4	10.9	18.3	71,4
	23	13.2	19.4	9.6	73	2.03	12.9	12.4	31.3	71,4
	24	13.9	19	7	61	0	12.4	16.3	27.8	100
	25	14.1	19.4	10	66	0	13.5	14.4	22.2	100
	26	13.7	18.9	9	68	1.02	11.9	17.8	37	71,4
	27	13.5	18	10	66	0	12.4	18.1	39.6	100
	28	13.9	18	11	64	0	12.7	20.6	40.7	71,4
	29	12.7	17	8	73	2.03	12.1	17	32.4	71,4
	30	12.5	18.2	6.1	71	0	12.7	11.7	22.2	100
	31	13.7	18	9	74	4.06	11.3	10.2	28.7	71,4
AGOSTO	1	13.4	18	7.8	72	0	11.9	9.6	21.7	71,4
	2	14.2	19	9.2	71	0.25	11.3	13	28.7	71,4
	3	14.1	19	11	67	0	12.1	13.9	21.7	100
	4	13.4	19	8.7	69	1.02	11.1	17.6	46.9	71,4
	5	13.8	19.3	9	65	0.76	12.6	13.7	27.8	71,4
	6	14.1	20.1	7	61	0.25	12.2	11.5	22.2	100
	7	12.9	20.3	6	74	0	12.1	9.8	27.8	71,4
	8	12.9	20	6.8	79	0	10.3	9.1	22.2	71,4
	9	13.2	19.8	8.5	86	0.25	6.9	7.4	18.3	0
	10	14.1	21	7.8	75	6.1	11.1	10	25.9	28,5
	11	13.3	18.4	9	84	2.03	10.6	9.4	22.2	28,5
	12	13.3	20	10	82	0.76	9.8	8.5	25.9	28,5
	13	13.7	19.6	9.5	82	0	10.6	8.7	25.9	28,5
	14	14.7	20	8.2	72	21.08	10.9	15.2	27.8	28,5
	15	15.2	20.4	11.5	63	0	12.1	15.4	29.4	100
	16	15.2	21	9.7	63	4.06	11.4	15.9	33.5	71,4
	17	14	20.7	9	73	0	11.4	10.7	37	28,5
	18	13.2	19.2	9.7	84	0.25	10.9	8.5	24.1	71,4
	19	13.2	18.4	10.7	84	11.94	10.3	8.5	22.2	71,4
	20	14.7	19	11	72	7.87	11.4	12.8	43.2	100
	21	13.8	19	9.7	76	1.02	11.9	10.6	27.8	71,4
	22	14.3	19	8.5	69	0	12.4	12.6	28.7	100
	23	12.8	19	5.8	66	0	11.9	11.7	28.7	85,7
	24	13.4	18.8	9.7	74	0	12.6	9.6	25.2	100
	25	14.6	20	10	72	-	10	11.7	27.8	71,4
	26	12.9	20.3	7.6	74	3.05	11.7	14.8	27.8	71,4
	27	13.4	18	6.9	63	0	12.6	15.4	31.7	100
	28	14	19.2	9.8	65	-	11.7	16.5	40.7	71,4
	29	13.8	19.2	9	71	-	11.3	18.5	39.6	57,1
	30	12.7	17.5	8	71	-	11.1	13.7	32.4	71,4
	31	13.8	19	10.1	68	1.02	12.1	15.4	33.5	71,4

SEPTIEMBRE	1	14.2	18.5	8.9	61	0	12.7	13	25.9	100
	2	11.6	20	3	74	0.25	10	10.4	28.7	0
	3	11.9	19.5	5.3	84	1.02	6.6	9.1	25.9	0
	4	11.8	19	6.7	86	0.51	6.1	7.8	22.2	0
	5	13.4	19	9.3	79	4.06	10.9	8.3	18.3	28,5
	6	14	19	11	78	0	9.5	11.5	33.5	71,4
	7	13.9	19.2	8.8	72	0	11.6	11.3	29.4	100
	8	14.2	19.9	9.5	73	1.02	11.4	10.9	27.8	71,4
	9	14.3	19	11	70	0	11.4	8.9	18.3	71,4
	10	13.6	19	7	70	0.51	12.6	10.2	25.9	100
	11	13.5	18.7	10	78	0	11.9	9.1	21.7	42,8
	12	12.5	19	8	83	-	8.9	7.8	22.2	0
	13	13.6	20	9.9	81	17.02	8.5	7.4	25.9	28,5
	14	14.4	20	9	70	3.05	11.1	12.6	37	100
	15	14.6	20.4	10.6	70	0	11.9	15.2	27.8	100
	16	14.5	19.2	9	62	0	12.4	16.1	37	100
	17	13.7	19	8	74	1.02	11.9	9.6	22.2	100
	18	14.1	19	9.5	71	-	10.9	11.9	33.5	71,4
	19	13.9	18.8	10	69	0.25	11.4	13.7	29.4	71,4
	20	14.4	20	8.5	56	0.51	11.3	13.7	29.4	71,4
	21	12.9	23	3.4	69	0	10	7.8	18.3	85,7
	22	14.1	22.7	4.6	66	0	12.2	15.4	37	100
	23	15.6	21.4	11	62	0	11.6	17.8	33.5	100
	24	14.7	19.4	8.7	63	0	11.7	16.3	33.5	100
	25	15.3	19.4	10	61	0	12.1	18.7	79.1	100
	26	14.7	21	11	70	-	11.3	11.3	20.6	28,5
	27	14.3	20.7	9.7	74	4.06	11.6	11.7	27.8	71,4
	28	14.7	21	10	66	0	11.6	11.3	18.3	100
	29	14.6	21.3	11	68	7.11	11.6	13.1	27.8	71,4
	30	15.2	20.4	10.7	62	0	11.9	12.2	18.3	100
OCTUBRE	1	12.7	20.4	6	79	-	10.9	9.1	29.4	28,5
	2	13.7	19.5	9	76	23.88	11.1	12.8	29.4	71,4
	3	13.3	19.2	7	73	0	11.6	11.5	22.2	71,4
	4	13.4	18	8.2	75	4.06	11.1	13.9	29.4	71,4
	5	13.6	20	7	67	0	11.1	14.3	29.4	71,4
	6	13.2	20	5.8	61	0	12.7	14.4	29.4	100
	7	12.8	19.7	6	70	0.25	11.6	9.8	22.2	71,4
	8	13.9	18.4	8.8	68	5.08	11.4	13.3	25.9	71,4
	9	12.7	18.4	4	68	0	11.3	11.1	29.4	100
	10	13.7	20	8.5	70	0	12.1	9.1	25.9	100
	11	14.1	19.6	8.9	81	6.1	10.1	9.6	22.2	71,4

	12	14.7	19	10	75	0	10	9.3	20.6	100
	13	14.6	19	11	75	3.05	10	10.7	18.3	71,4
	14	13.8	19.3	8.5	79	0.25	9.7	9.1	18.3	85,7
	15	13.1	19	7	73	0	11.9	9.3	18.3	100
	16	12	18.8	7	82	-	10.8	8.7	22.2	71,4
	17	13.8	19	10	73	7.11	9.7	11.7	29.4	57,1
	18	12.8	20	5.6	72	0	11.7	9.1	25.9	42,8
	19	13.4	22	4	67	0.51	11.4	10	21.7	85,7
	20	12.2	21.8	4	79	0	9.8	7	18.3	85,7
	21	14.2	20	7.6	70	0	11.3	11.5	22.2	100
	22	14.3	20	11	77	-	11.6	11.1	25.9	71,4
	23	13.1	19	7	84	3.05	10.3	7.8	18.3	28,5
	24	14	19	8.5	75	3.05	11.9	13.9	33.5	71,4
	25	14.1	19.8	7.2	66	0	12.2	14.4	27.8	100
	26	12.3	19.4	3.7	68	0	12.2	8.9	18.3	100
	27	12.1	19.4	3.8	74	0	10.6	8.3	18.3	85,7
	28	14.3	20	9.8	77	-	9.7	8.3	27.8	28,5
	29	14.4	20.2	8.5	77	11.94	10.1	11.7	25.9	28,5
	30	14.1	20.3	8	77	0	9.7	10	35.2	14,2
	31	14.1	20.3	11	76	0.76	11.9	15	37	71,4
NOVEMBRE	1	13.2	19	8.6	72	0	11.9	10.9	27.8	100
	2	13.8	19	9	72	0	10.9	10.7	27.8	100
	3	13.4	19	9	83	0	10.6	10.2	22.2	85,7
	4	13.2	17.8	11.5	88	1.02	9	10.4	29.4	28,5
	5	13.2	18	9.7	86	14.99	6.3	8	22.2	28,5
	6	13.9	18	10.9	83	0.25	9.2	7.8	18.3	0
	7	14.1	19	11	82	10.92	7.9	10.6	25.9	0
	8	14.2	19	10.6	80	6.1	10.3	8	18	28,5
	9	13.3	19	8	81	0	7.2	9.3	33.5	100
	10	13.4	19	10	85	11.94	8	8.9	27.8	0
	11	13.8	20	10	77	7.87	11.9	11.1	22.2	100
	12	13.7	19.8	8.9	77	0	11.6	12.6	37	71,4
	13	12.9	19.4	5.7	71	2.03	12.1	9.8	22.2	85,7
	14	13.3	20	5.8	70	0	12.2	10	22.2	100
	15	14.9	19.8	11.7	76	0.51	11.6	8.9	22.2	71,4
	16	14.3	20	8.9	72	0	11.4	9.8	21.7	100
	17	13.3	21	6	79	0	9.2	11.7	33.5	85,7
	18	14.4	20.6	8	78	0	7.9	10.9	27.8	85,7
	19	13.2	19.9	8	82	0	8.7	10	25.9	14,2
	20	13.3	19.1	9.4	81	-	9.8	8.7	29.4	28,5
	21	13.8	20	9.7	77	22.1	10.9	9.3	22.2	100

	22	14.3	20	9.4	72	0	10.8	9.8	20.6	100
	23	13	20	5.5	80	0	10.3	6.9	22.2	28,5
	24	13.1	20	7.6	84	18.03	8.4	7.4	21.7	0
	25	13.7	19.6	11	84	13.97	8.4	5.7	18.3	28,5
	26	12.6	19	7	82	39.12	7.6	8.3	25.9	14,2
	27	13.7	20	9	82	0	9.2	10.7	29.4	85,7
	28	12.7	19.9	8	88	2.03	8.7	8.1	18.3	57,1
	29	13.3	18	9.8	85	0	8.9	8.1	18.3	0
	30	12.7	19	7.7	85	103.12	7.4	8	24.1	0
DICIEMBRE	1	14.2	18.7	11.9	85	21.08	9.2	7.4	24.1	0
	2	13.5	18.3	11	85	45.97	7.9	6.3	18.3	71,4
	3	12.9	17.6	8	81	0	10.6	6.3	18.3	71,4
	4	13.4	18	7.9	78	0.25	10.3	9.1	22.2	100
	5	14.6	20	9.6	70	0	12.1	12.2	22.2	100
	6	13.8	19.6	8	72	0	12.1	11.5	24.1	100
	7	13.6	19.4	8	78	0	10.6	9.4	22.2	100
	8	13.3	18.9	10.6	84	0.25	10.5	6.7	18.3	28,5
	9	13.7	17.6	10	77	0.76	11.3	10.9	25.9	71,4
	10	13.7	19	7.9	70	0	12.2	13.7	33.5	100
	11	13	19	5.9	72	0	11.9	8.9	22.2	100
	12	13.4	19	9	75	0	11.3	8.9	18.3	100
	13	13.6	18.9	9.6	74	0	11.7	10.7	25.9	100
	14	13	19	7.6	69	0	12.2	12.8	25.9	100
	15	12.1	19	4	73	0	12.1	10	33.5	85,7
	16	14.1	20.2	8.9	73	0	12.2	11.1	18.3	100
	17	13.4	20.2	6.8	82	-	10.9	9.8	18.3	28,5
	18	13.4	19.8	7.7	84	0	10.5	8.1	18.3	0
	19	14.3	20	8.5	84	11.94	8.9	8.9	25.9	57,1
	20	14.1	20	8.9	83	0	7.7	11.1	28.7	57,1
	21	14.9	20.2	11	79	0	9.8	12.4	29.4	71,4
	22	14.5	20	9.4	74	0	11.9	10.9	22.2	100
	23	12.6	19.6	11	88	19.05	7.7	8.1	18.3	71,4
	24	12.6	17	9	82	17.02	10.6	8	20.6	100
	25	13.5	18.2	9.9	83	0.51	11.1	9.1	29.4	100
	26	13.8	18.8	9.8	81	0	11.3	8	18.3	71,4
	27	12.6	18.2	6.3	78	0.25	10.8	11.1	25.9	85,7
	28	14.1	21	5.6	63	0	12.2	14.1	25.9	100
	29	13.9	21.1	8	68	0	13	13.9	37	100
	30	13.3	22	4	61	0	11.9	11.9	24.1	85,7
	31	13	21.7	5	68	0	11.3	13.5	35.9	85,7

Fuente: [http://www.tutiempo.net/clima/Bogota\\_Eldorado/12-2013/802220.htm](http://www.tutiempo.net/clima/Bogota_Eldorado/12-2013/802220.htm)

TABLA 2. DATOS METEOROLOGICOS CORRESPONDIENTES AL AÑO 2014

MES	Día	ENTRADAS								SALIDA
		T	TM	Tm	H	PP	VV	V	VM	% RADIACION
ENERO	1	13.8	21	7.5	62	0	11.9	12.4	22.2	100
	2	12.8	21.3	4.6	72	0	11.9	12.4	28.7	100
	3	14.1	21.3	6	69	0	11.7	12	25.9	100
	4	13.5	20.3	5.5	73	0	12.7	13	25.9	100
	5	13.4	22	7.6	74	-	12.2	12.6	27.8	28,5
	6	13.4	21.6	11.7	85	1.02	10.3	9.6	22.2	28,5
	7	13.4	18	10	85	1.02	8	7.6	18.3	71,4
	8	13.2	17.5	11	90	11.94	7.9	8.5	22.2	28,5
	9	12.9	18.4	8.5	84	39.12	10.9	8.7	18.3	71,4
	10	12.8	20.1	6	72	0	11.1	8.7	20.6	100
	11	14.2	21	9.6	70	0	9.5	9.8	32.4	42,8
	12	13.9	20	9.6	79	0	8.4	10	29.4	100
	13	13.2	19.6	6.8	76	0	9.3	10	25.9	100
	14	13.3	19.4	7	71	0	11.4	8.9	18.3	100
	15	13.1	20	5.9	70	0	10.1	8.3	18.3	100
	16	13.3	21	7	74	0	10	8.5	22.2	100
	17	14.3	20.7	9	68	0	10.5	11.5	28.7	100
	18	14.3	19.6	11	68	0	11.6	10.4	18.3	100
	19	15.1	20	11	67	0.25	11.9	11.3	32.4	71,4
	20	13.2	22	7	69	0	12.4	11.5	22.2	100
	21	13.9	21.5	6	72	0	9.5	9.3	22.2	100
	22	14.3	19	9.9	76	-	10.1	9.1	25.9	71,4
	23	13.9	20	7.8	72	20.07	10.5	12.2	29.4	57,1
	24	12	21	2.8	74	0	9.7	9.1	25.9	85,7
	25	14.5	20.7	8.7	75	1.02	9.7	8.9	25.2	71,4
	26	13.3	19.7	8	83	0	8.9	9.8	18.3	57,1
	27	13.6	20	6.9	79	0	8.9	10	28.7	100
	28	13.2	20	8.9	74	-	11.1	9.1	22.2	71,4
	29	14.2	20	7.7	75	0.76	10.3	10.4	22.2	71,4
	30	14.2	20	10	75	0	10.5	8.5	25.9	100
	31	14.7	20.4	10	71	0	10	9.8	25.9	100
FEBRERO	1	12.4	20.4	3.9	76	0	10.1	11.3	29.4	85,7
	2	12.9	24	7	78	0	9.8	10.2	25.9	85,7
	3	13.6	20	7.8	74	0	10.8	10.2	22.2	100
	4	14.1	21.4	7.6	73	0	8.5	9.1	27.8	42,8
	5	13.9	21.4	7	74	0	10.6	10.7	28.7	100
	6	13.6	20.2	7	71	-	11.7	9.8	25.9	71,4
	7	12.8	20.5	8	78	-	7.9	8.7	20.6	28,5
	8	14.9	20	11.8	67	1.02	10.8	11.9	27.8	71,4

	9	12.6	20	5.2	76	0	11.4	7.2	22.2	28,5
	10	13.9	21	8	70	14.99	11.6	11.3	25.9	100
	11	15.3	21	10.7	63	0	11.1	10.9	20.6	100
	12	13.6	21	6.8	71	-	11.6	9.3	22.2	71,4
	13	12.5	20.6	7.9	81	2.03	10.3	9.1	20.6	28,5
	14	13.3	20	6.8	76	6.1	10.1	12.2	24.1	28,5
	15	13.7	21	9	71	0	10	12	27.8	28,5
	16	12.9	21	6	79	1.02	9.2	10.9	33.5	57,1
	17	12.9	20.8	7	80	2.03	9	8.9	22.2	0
	18	14.6	20	9.6	77	1.02	8.7	9.6	25.9	28,5
	19	14.1	20	11.9	83	1.02	9.5	6.9	14.4	71,4
	20	14.1	19	10.6	79	2.03	9.3	7.4	24.1	28,5
	21	13.6	19.1	9	86	0	8.4	6.1	25.9	71,4
	22	13.9	20	10.6	84	4.06	6.9	8	22.2	71,4
	23	14.1	20	8.7	77	2.03	9.3	8.1	25.9	0
	24	14.3	19.6	10	79	3.05	9.8	8.9	18.3	71,4
	25	13.8	19.2	9	84	0	9.2	8.1	18.3	57,1
	26	14.2	19	11	83	0.51	7.9	8.9	25.9	100
	27	14.3	18.8	10	82	0	10.9	8.9	21.7	71,4
	28	13.2	18.4	10.9	89	2.03	8.5	9.3	39.6	57,1
MARZO	1	13.7	18.4	10.6	85	14.99	8.7	8.9	25.9	28,5
	2	13.7	18	9	82	3.05	10.5	10	21.7	100
	3	13.1	18.4	7.5	82	0.76	7.9	9.6	25.9	0
	4	13.6	18	9	84	5.08	7.7	8.5	22.2	57,1
	5	14.3	19	11	81	0.25	9.2	9.1	22.2	28,5
	6	14.3	19.3	11	81	9.91	7.7	8.1	16.5	100
	7	12.9	18	8	84	0	7.7	5.7	18	0
	8	14.1	20	10.5	81	11.94	9.2	9.1	29.4	71,4
	9	13.7	19.8	7.5	80	0	11.1	9.4	25.9	85,7
	10	13.6	19	7	77	0	10.3	10.4	28.7	100
	11	13.6	19.4	9	83	0	6.4	9.4	25.9	14,2
	12	14.9	20	11.8	81	-	7.7	9.3	29.4	28,5
	13	14.1	20	10	83	19.05	6.6	9.6	24.1	0
	14	13.9	19.3	9	82	13.97	7.2	8.7	29.4	0
	15	14	18	12	87	0	6	8.5	22.2	28,5
	16	14.1	19	11	85	1.02	6.8	9.8	29.4	0
	17	14.5	20	10	73	12.95	9	9.8	22.2	71,4
	18	14.7	21	10	70	0	10.9	12	22.2	100
	19	13.8	20.6	9	75	0	10	10.4	22.2	100
	20	14.8	19	11	68	0	10	12.2	22.2	100
	21	14.4	21.2	8	69	0	11.1	11.1	22.2	100

	22	14.8	21	8.8	64	0	9	10.2	18.3	100
	23	14.8	21	9.7	67	0	11.7	10.9	18	100
	24	13.6	20	8	75	-	10.9	7.8	25.9	28,5
	25	14.5	19	11	77	4.06	11.6	9.4	14.8	71,4
	26	13.9	19	9	75	0	10.5	9.3	18.3	100
	27	14.7	19	9	67	0	10.6	12.4	31.7	42,8
	28	14.3	22	8	64	0	9.2	8.7	18.3	85,7
	29	13.1	22	4	73	0	7.9	10	25.9	85,7
	30	14.2	22.4	5.1	74	0	8	11.3	31.7	100
	31	13	20.7	4.9	74	0	8.5	9.6	24.1	85,7
ABRIL	1	13.4	20.4	6.5	67	0	8.7	10.9	25.9	85,7
	2	14.7	20	11	67	0	9.8	12.8	27.8	71,4
	3	14.7	20	11	75	0	10.8	12	25.9	42,8
	4	14.5	21	11	76	0.51	9	6.9	18.3	0
	5	14.4	20.6	10.6	76	3.05	10.1	9.8	22.2	71,4
	6	14.7	19.3	9	67	0	10.9	13	27.8	100
	7	15.4	20	12	69	-	10.1	11.9	29.4	71,4
	8	14.9	19	11.7	72	0.25	10.3	10.9	22.2	71,4
	9	14.8	20.2	9	60	0	11.6	10.7	27.8	71,4
	10	14.2	20.2	9	65	0	12.4	13.5	24.1	100
	11	13.9	19.5	8.9	68	0	12.2	14.3	25.9	100
	12	13.8	19	9.6	68	0	12.1	13.5	22.2	100
	13	13.1	20	6	68	0	12.2	12.6	25.9	100
	14	13.8	22	7	70	0	10.5	10.2	27.8	71,4
	15	13.7	21.5	11.6	82	3.05	9.3	6.7	14.8	57,1
	16	14.2	18.4	10	81	3.05	10.1	7.4	22.2	57,1
	17	13.8	19.4	10.9	81	18.03	9.7	9.1	20.6	71,4
	18	14.1	20	9.9	73	7.87	12.4	10.2	18.3	100
	19	14.1	20.4	11	83	4.06	10.9	9.1	14.8	71,4
	20	14.6	19	10	74	3.05	12.4	10.7	18.3	71,4
	21	13.5	18.2	8.5	79	0	10.9	9.4	22.2	71,4
	22	13.9	18.2	12	82	3.05	10.3	7.6	29.4	28,5
	23	13.8	20	8	80	18.03	10.8	10.2	24.1	28,5
	24	14.1	20.4	11.9	82	7.11	9.2	6.7	14.8	71,4
	25	14.1	19	10	74	2.03	12.4	10.2	22.2	100
	26	14.3	19	10.8	74	0	12.1	9.6	20.6	100
	27	14	20	9.6	76	0.25	12.2	9.8	18.3	71,4
	28	15.6	21	12	71	3.05	10.9	8.7	18.3	71,4
	29	14.7	20.9	11	74	5.08	11.1	10	18.3	71,4
	30	14.7	21	9.8	71	0.51	12.1	9.4	21.7	71,4
MAYO	1	14.3	21.4	10	79	0.51	10.9	6.9	13	71,4

	2	15.2	20.2	11.7	73	1.02	11.6	7.8	24.1	71,4
	3	14.6	22	9	62	0	12.1	11.5	22.2	100
	4	12.8	21.7	5	71	0	12.2	9.8	22.2	100
	5	14.7	21	10.6	77	0	11.3	8	24.1	42,8
	6	14.3	20.5	8	80	1.02	8.5	8	22.2	85,7
	7	14.8	19	11.9	81	7.87	10.1	6.7	18	28,5
	8	14.1	19	12	86	2.03	8.2	8.7	22.2	0
	9	13.8	18.6	11.4	84	11.94	8.5	8.5	20.6	71,4
	10	14.4	18.4	11.9	82	1.02	9.7	9.4	28.7	28,5
	11	14	18.2	11	87	0	9	9.6	27.8	0
	12	14.3	20	11	84	32	7.7	6.5	25.9	28,5
	13	14.7	20	8.5	75	14.99	10.8	9.3	22.2	100
	14	15.7	20	11.7	67	0	11.6	10.9	18.3	100
	15	14.1	20.1	8.5	78	-	11.4	9.6	25.9	71,4
	16	13.4	19.8	8.3	84	11.94	11.7	7.6	18.3	71,4
	17	13.8	18	11	84	0.51	10.1	7.4	22.2	57,1
	18	14.1	19	11	82	0.76	10.1	8.7	18.3	71,4
	19	13.4	18.7	9	77	0	11.6	10.9	25.9	100
	20	14.5	19	11.6	66	0	11.6	11.9	20.6	100
	21	12.2	20	2.6	77	0	11.9	9.6	24.1	100
	22	15.6	23	9.8	74	10.92	9.3	8	29.4	0
	23	14.5	22.6	9	81	7.11	11.6	8.9	29.4	28,5
	24	14.9	22	8	64	12.95	10.5	11.9	79.1	100
	25	12.9	21	4.6	69	0	11.1	10.4	22.2	100
	26	13.6	19.2	7	71	0	10.9	10.6	25.9	100
	27	13.4	17	9.5	79	0.51	10.1	8.3	18.3	71,4
	28	13.4	19	9	79	2.03	10.8	8.5	18.3	100
	29	14.8	19.8	10.6	74	0.25	10.8	8	16.5	71,4
	30	14.1	20	9	79	0	10.1	7.4	14.8	71,4
	31	14.8	20.2	11.7	73	2.03	11.6	10.2	25.2	71,4
JUNI	1	15.1	19	11	68	0.51	11.1	12.6	22.2	100
	2	15.1	20	12	75	0	11.6	9.6	22.2	71,4
	3	14.1	19	7	73	0	10.9	8.5	18.3	100
	4	15.2	19.4	11	72	0	11.6	10.6	22.2	100
	5	14.9	20	9.9	72	-	11.6	11.5	29.4	71,4
	6	14	19.8	10.8	78	0	11.6	9.4	20.6	71,4
	7	13.6	17.7	11.7	85	6.1	10.3	10.2	18.3	71,4
	8	14.1	18	10.6	78	1.02	11.1	10	14.8	71,4
	9	13.8	20	9.8	74	2.03	11.3	10.6	22.2	100
	10	14.3	19.5	11	72	0	12.2	14.6	29.4	100
	11	14.1	20	8	71	0	11.3	12.2	22.2	100

	12	14.3	19.6	9	70	0	12.7	13.1	22.2	100
	13	14.3	20	9	72	0	12.2	11.9	27.8	100
	14	14.2	20	9.6	75	3.05	10.9	10.9	22.2	71,4
	15	13.6	19.8	9	74	1.02	11.9	14.6	33.5	100
	16	14.3	19	9.5	64	0	11.9	15.4	28.7	100
	17	13.6	18.5	10	70	0	11.4	14.4	29.4	71,4
	18	14.1	18	9	66	0	12.1	13	22.2	100
	19	14.1	19	9.7	73	0.25	10.9	14.8	28.7	71,4
	20	13.9	18.7	7.9	71	0	12.7	13.9	32.4	71,4
	21	13.6	18.1	9.5	77	5.08	10.8	8.9	22.2	71,4
	22	13.8	18.1	10.6	82	2.29	10.1	8.5	18.3	71,4
	23	13.6	18	9.9	77	0	10.3	10.4	28.7	71,4
	24	13.7	18	11	82	1.02	9.3	10.9	22.2	71,4
	25	13.8	18	11	78	4.06	10.5	8.1	22.2	71,4
	26	13.4	18	9	68	1.02	11.6	12.4	24.1	71,4
	27	13.2	19	7	57	0	10.5	12.4	27.8	100
	28	12.8	18.8	9.9	74	0.51	11.4	8.7	18.3	71,4
	29	13.9	19	10	73	1.02	11.3	12	25.9	71,4
	30	12.7	18.5	8	78	0.76	12.1	9.6	18.3	71,4
JULI	1	13.9	19	9	78	-	11.3	9.3	21.7	71,4
	2	14.8	20	10.1	72	3.05	11.4	13.9	29.4	71,4
	3	14.4	20.1	8.8	65	0	11.7	10.4	25.9	100
	4	13.7	20	8	71	-	12.4	11.9	25.9	71,4
	5	14.2	19.9	10	72	0.76	11.9	10.4	22.2	71,4
	6	13.8	19.2	10	73	0	12.4	12.6	27.8	100
	7	12.6	17.9	9	83	0.25	10.6	10.4	22.2	71,4
	8	13.7	18	10	74	3.05	12.2	12.6	25.9	71,4
	9	13.2	17.6	9	76	0	10.3	9.3	20.6	71,4
	10	13.3	19	9	75	2.03	11.6	12	25.9	100
	11	14.1	19	9	72	0	11.9	14.4	29.4	100
	12	12.7	18.8	11	78	0.76	11.6	8	20.6	71,4
	13	11.9	14	10	82	0	10	8.9	11.1	100
	14	12.9	16.2	10	77	6.1	9.3	13	33.5	71,4
	15	12.9	17.3	8.9	80	0.51	10.6	10.9	22.2	71,4
	16	13.6	17.3	9.8	72	3.05	11.4	12.8	27.8	71,4
	17	13.9	19	9.5	68	0	11.4	17	27.8	100
	18	14.2	18.8	11	65	0	11.7	16.7	33.5	100
	19	14.2	18	9	64	0	11.6	16.9	39.6	100
	20	13.6	17.8	9.4	72	0	10.1	11.7	24.1	71,4
	21	13.8	18	9.6	66	0	12.2	13.9	28.7	100
	22	14.4	19	11	70	0.25	11.3	14.8	27.8	71,4

	23	13.9	19	9.7	70	0.25	12.1	13.5	33.5	71,4
	24	13.7	19	9.7	75	1.02	11.6	13.1	33.5	71,4
	25	14.6	20	8.7	63	0.51	11.6	14.3	33.5	71,4
	26	14.1	21	9	64	0.25	11.7	13	22.2	71,4
	27	13.8	20.8	9.8	66	0	12.1	11.5	35.9	71,4
	28	14.7	20	10	62	0	12.7	16.7	37	100
	29	13.5	20	8	61	0	12.1	17	33.5	100
	30	13.7	19	8.8	69	0	12.2	14.6	27.8	100
	31	14.2	19	9	65	0	12.1	13.3	29.4	100
AGOSTO	1	13.7	19.1	8	68	0	11.6	11.1	25.9	100
	2	13.8	17	11	72	-	10	16.7	42.4	71,4
	3	12.7	18	9	70	0	10	13.5	37	100
	4	12.7	21	5	65	0	10	11.3	33.5	100
	5	12.8	20.6	7	69	-	10.6	11.1	27.8	71,4
	6	13.8	17	9.2	70	0	10.6	15	29.4	71,4
	7	14.4	18	9	64	0	10.6	15	27.8	100
	8	13.2	19	9.8	72	-	11.3	10.6	25.9	71,4
	9	12.8	17	10	81	-	9.5	12	27.8	71,4
	10	13.6	18	9	73	-	10.1	9.6	18.3	71,4
	11	14.3	19	9	68	0	10	14.4	27.8	100
	12	13.6	24	9	72	-	10.5	13	29.4	71,4
	13	14.1	19	10	66	0	11.1	13.9	25.9	71,4
	14	13.8	19.4	9.7	64	0	11.3	14.8	31.7	71,4
	15	14.8	18	12	58	0	12.4	19.4	32.4	100
	16	13.9	19	9.4	67	0	12.2	14.4	29.4	71,4
	17	14.4	19	9	70	0	11.1	15	46.9	71,4
	18	14.1	19.3	9.7	69	0.25	11.7	16.1	28.7	71,4
	19	13.4	19.3	10.5	69	0	11.9	16.1	33.5	100
	20	12.7	18	7	70	0	12.1	15.2	33.5	100
	21	13.3	19.4	7.9	74	0	10.9	8	22.2	100
	22	12.9	20	7	74	-	11.4	9.6	22.2	71,4
	23	14.1	20	10.6	73	0	11.1	11.1	20.6	71,4
	24	14.3	20	8.5	70	0.25	12.2	8	18.3	100
	25	13.7	20.3	9	74	0	10.3	10	21.7	71,4
	26	13.1	17.4	9	75	3.05	11.1	12.2	22.2	71,4
	27	12.4	17.4	9.6	79	2.03	11.1	7.8	18.3	71,4
	28	12.9	18	6.5	76	0	10.9	10.9	31.7	71,4
	29	13.4	19	6.5	66	0	11.7	17.2	37	100
	30	12.4	20	1.6	56	0	12.6	15	27.8	100
	31	13.6	19.9	6.5	58	0	12.4	15.4	35.2	100
SE	1	14.4	21	9	60	0	12.7	15.4	37	100

	2	12.8	20.5	6.9	75	0	12.1	9.4	22.2	71,4
	3	13.4	18	7	70	0.25	11.6	8.5	22.2	71,4
	4	13.7	18.4	9	69	0	10.6	13.7	28.7	71,4
	5	12.4	18.1	5	72	0.51	11.6	7.8	20.6	57,1
	6	13.2	18.4	9	73	0	11.6	11.1	25.2	71,4
	7	13.2	18.4	8	72	1.02	11.3	13.1	28.7	71,4
	8	13.3	17.6	8.7	66	0	11.1	18	29.4	71,4
	9	12.6	20	5.6	65	0	12.2	10.9	22.2	100
	10	13	19.5	5	68	0	12.1	8.7	14.8	100
	11	13.9	19.3	9.3	76	0	11.1	9.3	22.2	71,4
	12	14.4	18.9	9.6	66	0.51	12.7	13.7	27.8	100
	13	14.3	18.3	10.4	71	2.03	11.6	12.4	28.7	71,4
	14	14.3	19	10.5	67	3.05	11.1	11.9	27.8	71,4
	15	14.4	19	9	66	0	12.2	11.5	25.9	100
	16	13.1	18.6	6	66	0	12.2	10.7	24.1	71,4
	17	13.2	20	7	72	0	11.7	9.4	20.6	100
	18	13.8	19.9	10.5	80	0.76	10.6	8.1	18.3	28,5
	19	13.6	19	8.6	78	0.25	11.4	8.1	29.4	0
	20	13.8	19	10.8	82	16	10.8	8.3	22.2	71,4
	21	13.8	19	10.8	84	5.08	10.9	7	18.3	71,4
	22	14.2	20	9	72	13.97	10.9	8.3	22.2	71,4
	23	14.3	21	8.7	64	0	11.3	7.6	14.8	100
	24	12.9	20.6	5	72	0	11.6	8.1	18.3	85,7
	25	14.4	22	8	68	-	11.9	10.2	18.3	28,5
	26	13.3	21	6.3	73	11.94	10.8	8.7	22.2	0
	27	13.6	19.6	8	71	0	11.3	10.9	29.4	100
	28	13.7	24	7.8	67	-	11.7	12.8	35.9	28,5
	29	13.9	19	9	61	0	12.1	12.6	25.9	100
	30	13.2	19.2	5	57	0	12.7	14.6	25.9	100
OCTUBRE	1	13.6	19.4	8	64	0	11.7	15.4	29.4	71,4
	2	13.8	18.3	9.8	68	0	11.3	14.1	33.5	71,4
	3	14.1	18.4	9	69	0.51	12.4	11.9	22.2	71,4
	4	13.5	20.1	8	75	0	11.6	8.5	22.2	28,5
	5	13.9	20.1	8	78	8.89	10.5	9.1	25.9	14,2
	6	14.5	20.3	9.6	73	0	11.1	8.7	22.2	100
	7	14.5	19.9	11	79	0.25	10.8	9.3	18.3	71,4
	8	13.8	18	9	81	0	9.3	8.7	18	28,5
	9	12.9	17.8	11	86	11.94	8.7	6.5	18.3	28,5
	10	13.2	17.1	10	80	0	9.7	6.1	18.3	71,4
	11	13.8	18.2	11.8	82	3.05	9.8	7	18.3	71,4
	12	13.9	20	10.5	75	0	10.9	8.9	27.8	100

	13	14.5	20.4	10.6	73	6.1	10.6	9.8	25.9	71,4
	14	14.7	20	9	66	0	12.4	14.4	32.4	100
	15	14	19.8	9	69	0	11.7	11.7	27.8	71,4
	16	14.6	20	10.9	73	0.25	11.9	10.4	25.9	71,4
	17	14.1	19.6	9	73	3.05	10.9	8.9	22.2	71,4
	18	13.9	17	10.9	77	0	11.6	9.3	27.8	28,5
	19	13.3	17.4	11	84	20.07	9.5	7.6	14.8	28,5
	20	13.6	18.2	9	77	3.05	11.1	7	14.4	42,8
	21	14.1	19	9.8	69	0	11.6	10	18.3	100
	22	13.7	19	10.8	77	0.76	10.6	8.3	18.3	28,5
	23	14.2	20	10	71	11.94	11.1	8.7	18	71,4
	24	13.1	20.4	7	80	0	10.8	7	18	28,5
	25	14.1	20.4	10	82	7.87	10.1	9.1	20.6	71,4
	26	13.6	18.3	11	84	8.89	10.5	8.7	25.2	57,1
	27	13.9	19	9.7	79	8.89	10.6	6.5	18.3	0
	28	12.1	20	4	83	0	9.7	7.2	22.2	0
	29	12.7	20	7.6	81	0	6.4	9.6	29.4	14,2
	30	13	20	6.8	80	0	8.5	8.5	18.3	14,2
	31	14.4	19.2	9	75	0.25	9.7	8.5	22.2	57,1
NOVIEMBRE	1	14.1	20	9	80	1.02	10.9	8.9	22.2	71,4
	2	13.9	21	7.6	75	0.76	11.3	8.1	18.3	100
	3	13.3	20.8	9	75	0	11.3	8.9	14.8	100
	4	13.3	21	6	74	0	11.6	8	25.9	28,5
	5	14.9	21	12	79	0.25	10.9	8.7	18.3	85,7
	6	14.3	19	11	82	0	8.5	8	18.3	71,4
	7	14.7	21	11	78	0.25	10.3	8.3	16.5	0
	8	13.8	20.6	9.8	83	0.25	10.5	8	22.2	42,8
	9	14.5	19	11	81	4.06	9.7	8	22.2	0
	10	13.4	20	9	84	1.02	9.2	7.6	29.4	0
	11	14.3	20	11	80	37.08	9.8	8.7	25.9	71,4
	12	14.3	19.5	11	77	0	12.1	10	25.9	71,4
	13	14.2	19	11	78	0	10.9	11.3	29.4	71,4
	14	13.9	19	9.8	75	0	11.4	11.7	28.7	28,5
	15	12.4	19	4.8	80	0.51	9.8	7.2	22.2	0
	16	12.8	18.5	10	83	0	11.4	9.1	20.6	71,4
	17	14.4	18.4	11	67	1.02	11.6	12.4	22.2	100
	18	13.5	20	8.6	75	0	11.1	9.8	33.5	28,5
	19	14.1	19.8	11	79	2.03	10.3	8.7	22.2	28,5
	20	12.9	20	5.9	81	6.1	11.6	8.5	25.9	28,5
	21	13.9	19.6	9.5	83	0	9.3	7	22.2	0
	22	12.6	20	7.7	83	0.76	6.9	7.6	29.4	0

	23	15.1	21	9	70	0	12.1	12	28.7	71,4
	24	14.7	21.2	10.7	68	0	12.1	9.6	18.3	100
	25	13.5	18.7	8.6	71	0	12.2	10.2	14.8	100
	26	12.6	20	7	79	0	11.6	8.7	22.2	0
	27	13.2	19.6	7	82	0.25	9.8	7.4	20.6	0
	28	13.2	21	7	74	5.08	10.3	9.3	22.2	100
	29	13.6	20.5	8	72	0	13.8	9.3	22.2	100
	30	14.9	19.3	10.6	69	0	12.6	13	25.9	100
DICIEMBRE	1	14.2	19.2	10	70	0	12.1	13.1	25.2	100
	2	13.8	19.4	8.9	67	0	12.1	13.7	29.4	100
	3	14.2	19.3	8	63	0	12.1	9.6	22.2	100
	4	12.2	21	3	70	0	11.7	7	18.3	71,4
	5	13.8	20.7	8.9	75	3.05	10.8	7.4	22.2	42,8
	6	13.7	19.4	9.5	82	0.51	8.2	7.4	22.2	0
	7	12.3	18	8.9	89	2.03	5.8	5.2	14.8	14,2
	8	13.6	19	9	79	0.25	6.8	8.5	18.3	71,4
	9	13.4	18.8	10.7	84	0.51	9.8	7.6	13	28,5
	10	13.3	18	10	85	13.97	7.7	8.1	18.3	28,5
	11	12.9	17.8	11	86	1.02	7.7	5.6	11.1	71,4
	12	14.2	18	10.5	74	3.05	12.1	10.2	22.2	71,4
	13	13.4	18.2	8	82	0.51	8.4	10.4	50.4	28,5
	14	13.3	18	10.4	85	14.99	8.5	8	25.9	28,5
	15	12.3	20	7	82	0.25	7.7	9.4	29.4	14,2
	16	14.8	19.5	10	77	0.51	10	9.3	22.2	71,4
	17	13.7	20.4	8	78	0	7.4	8.7	18.3	85,7
	18	13.2	21	6.9	79	0	7.2	7	22.2	0
	19	13	20.7	4.5	78	9.91	6.9	8	18.3	0
	20	14.4	21	9.8	77	9.91	8.4	6.7	22.2	28,5
	21	14.9	20.5	10.5	75	2.03	9.7	9.3	22.2	28,5
	22	13.8	21	7	65	0.76	10	12.6	27.8	85,7
	23	13.2	21	5.8	60	0	12.7	16.7	37	100
	24	13.1	20.6	7	66	0	12.2	9.8	21.7	100
	25	13.7	19.7	8	74	0	11.4	9.1	28.7	85,7
	26	12.9	21	4.8	65	0	11.7	10.9	25.9	85,7
	27	14.4	22	7	59	0	12.4	11.1	24.1	100
	28	13.1	21.9	5.8	67	0	12.4	12.2	22.2	100
	29	12.4	20.4	4.9	61	0	11.7	11.9	24.1	85,7
	30	13.4	20.4	4	65	0	12.4	12.8	25.9	100
	31	-	-	-	-	-	-	-	-	NO HAY DATOS

Fuente: [http://www.tutiempo.net/clima/Bogota\\_Eldorado/12-2013/802220.htm](http://www.tutiempo.net/clima/Bogota_Eldorado/12-2013/802220.htm)

## **Anexo 2. Planos del Prototipo**

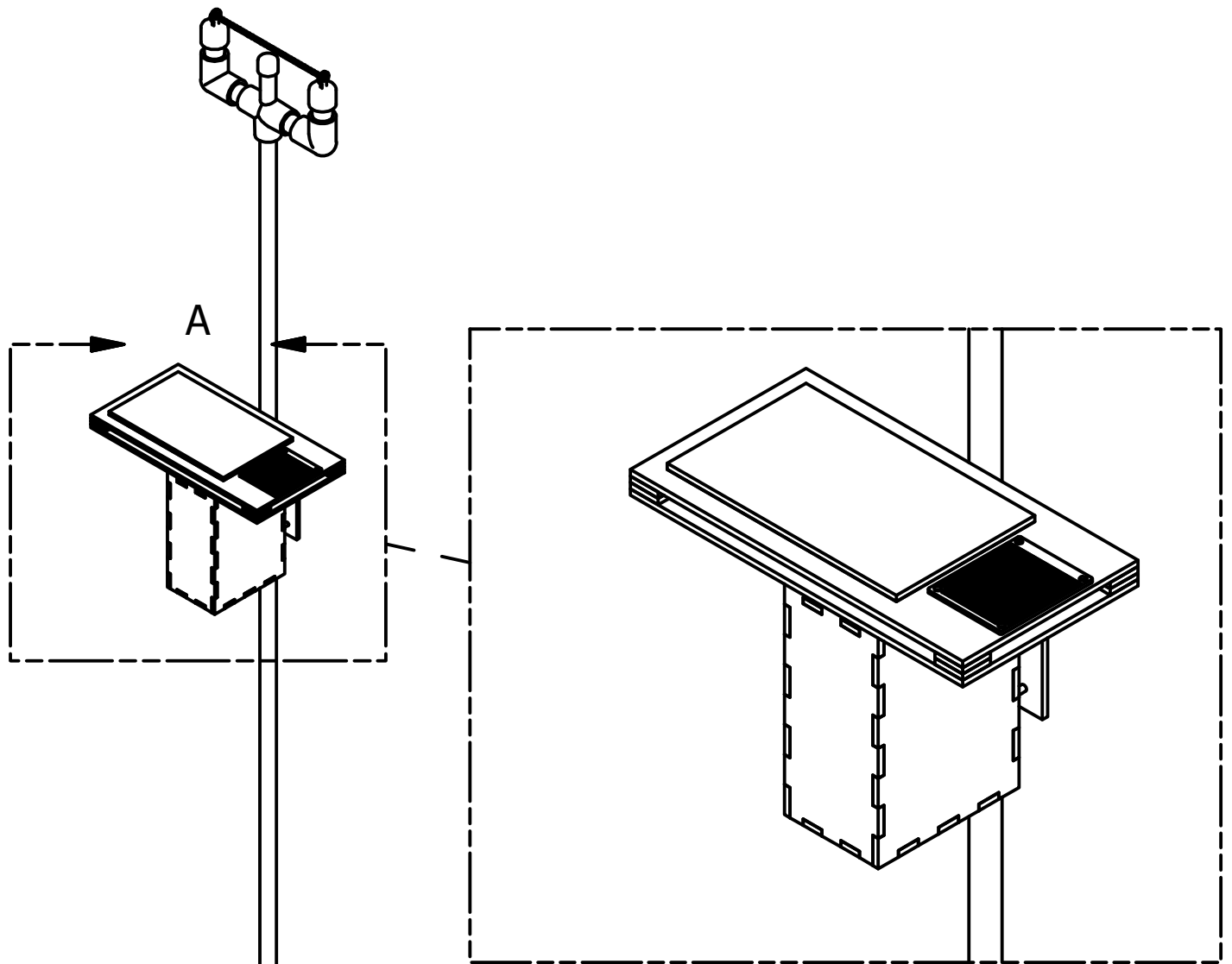
Los planos del desarrollo mecánico implementado fueron basados en la norma internacional ISO-A con tolerancias de  $\pm 0.5$ , los cuales se pueden apreciar a continuación.

4


3

2

1



DETALLE A  
 ESCALA 0,40 : 1

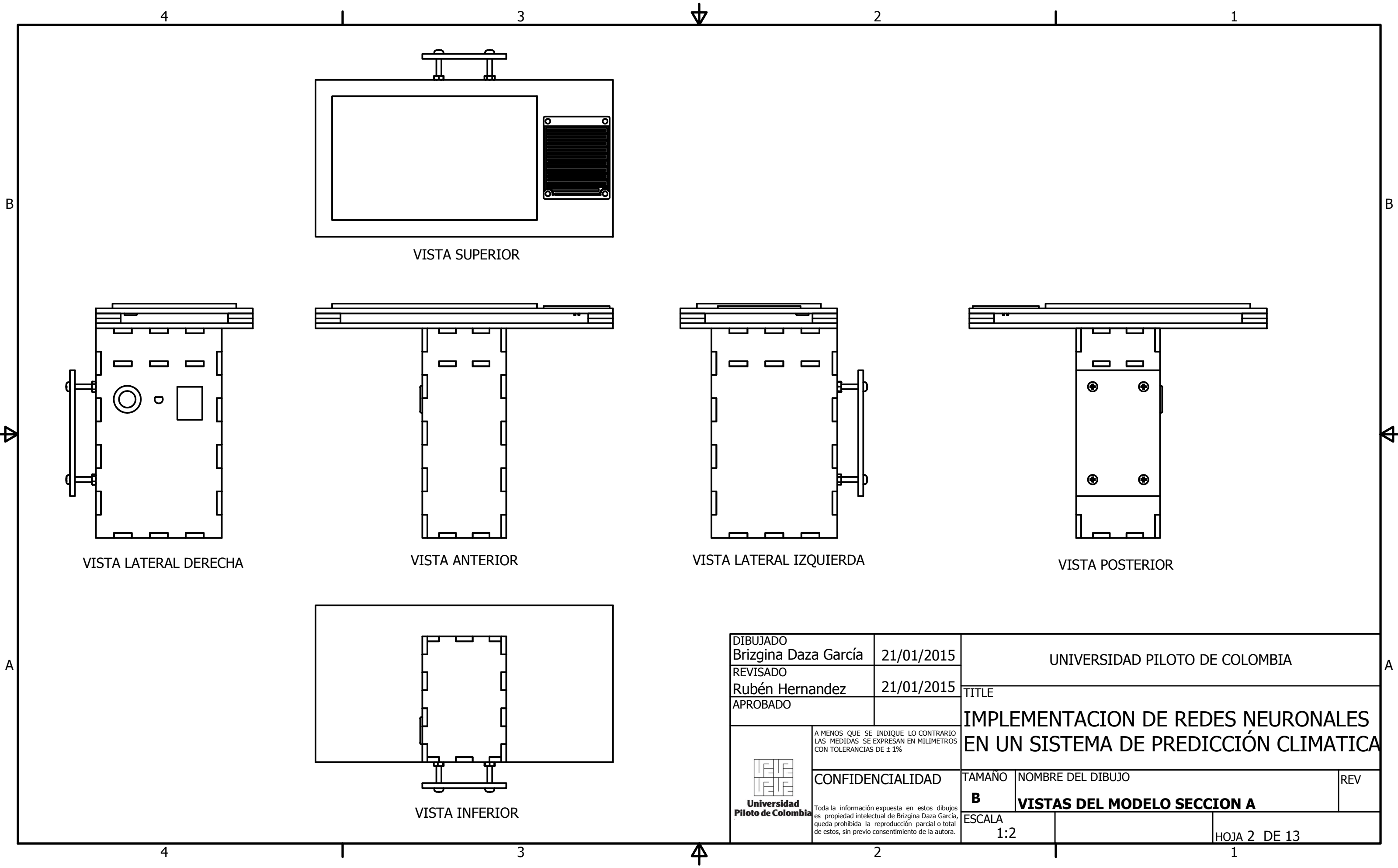
DIBUJADO Brizgina Daza García		21/01/2015		UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA		
REVISADO Rubén Hernandez		21/01/2015				
APROBADO		TITLE				
 <p>A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO LAS MEDIDAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS CON TOLERANCIAS DE ± 1%</p>		IMPLEMENTACION DE REDES NEURONALES EN UN SISTEMA DE PREDICCIÓN CLIMATICA				
		CONFIDENCIALIDAD		TAMANO <b>B</b>	NOMBRE DEL DIBUJO <b>VISTA TOTAL DETALLE SECCION A</b>	REV
		<p>Toda la información expuesta en estos dibujos es propiedad intelectual de Brizgina Daza García, queda prohibida la reproducción parcial o total de estos, sin previo consentimiento de la autora.</p>		ESCALA	HOJA 1 DE 13	


4

3

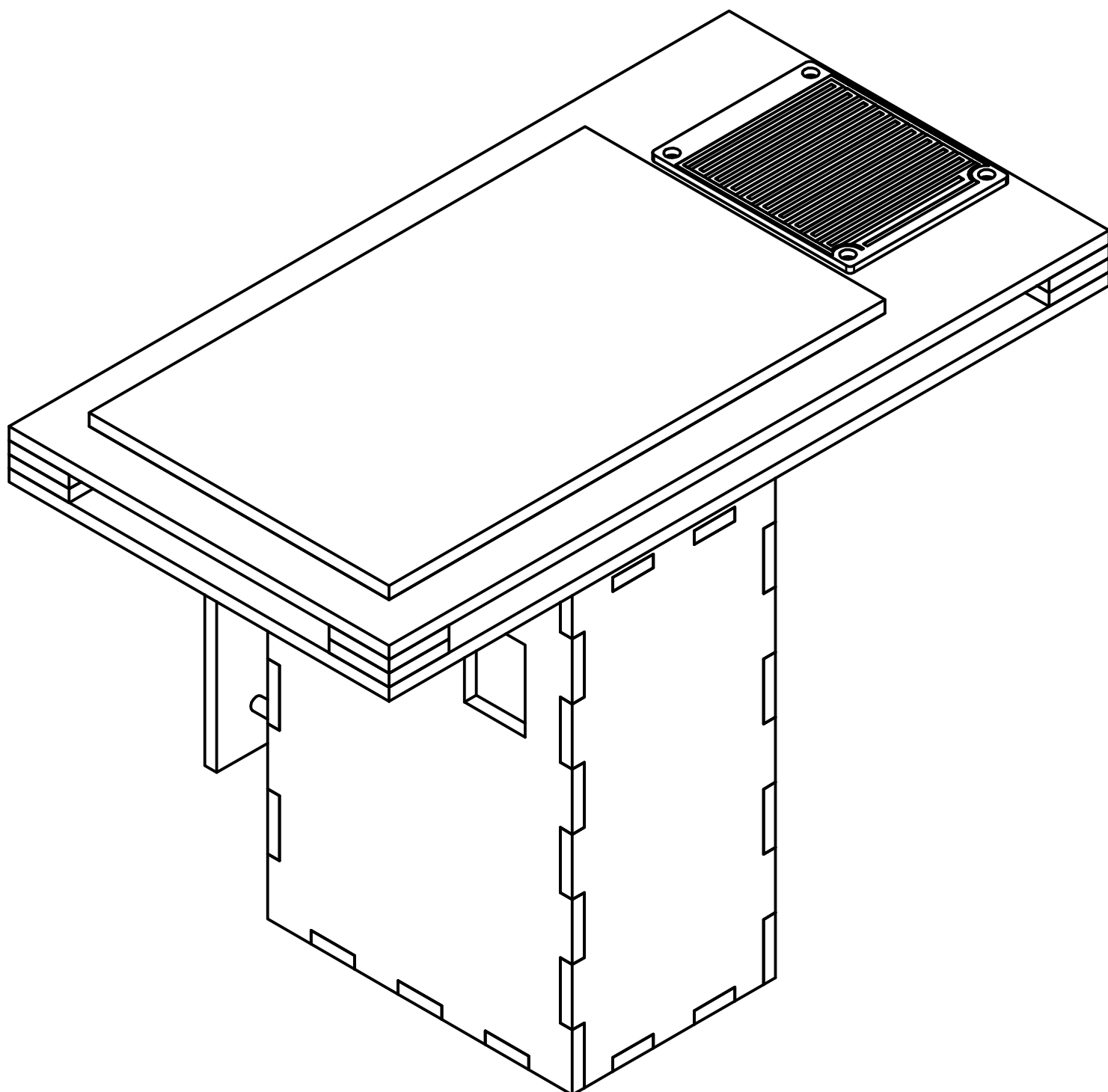
2


1

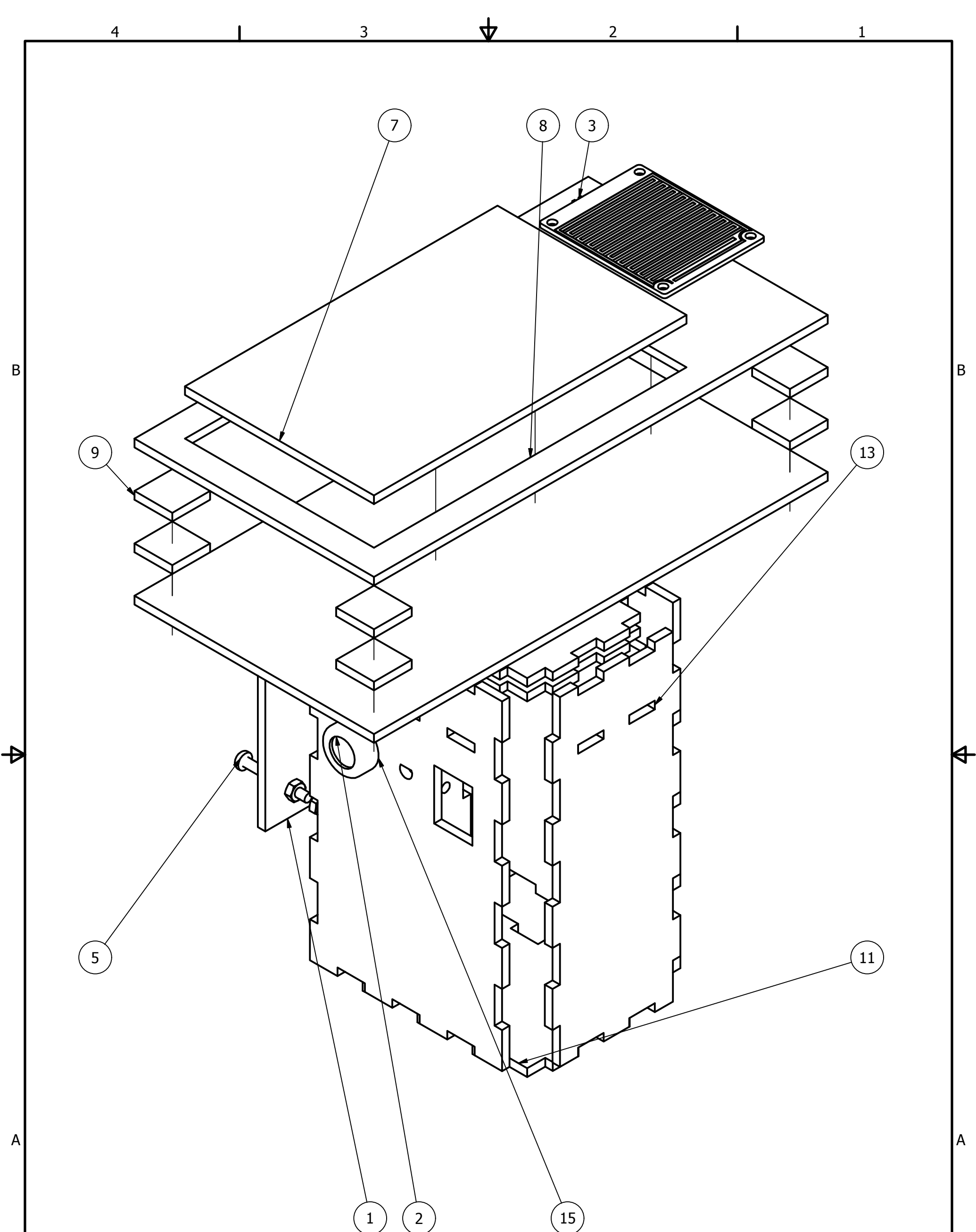



DIBUJADO Brizgina Daza García	21/01/2015	UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA		
REVISADO Rubén Hernandez	21/01/2015	TITLE		
APROBADO		IMPLEMENTACION DE REDES NEURONALES EN UN SISTEMA DE PREDICCIÓN CLIMATICA		
 <b>Universidad Piloto de Colombia</b>	<small>A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO LAS MEDIDAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS CON TOLERANCIAS DE ± 1%</small>	TAMAÑO	NOMBRE DEL DIBUJO	REV
	CONFIDENCIALIDAD	<b>B</b>	<b>VISTAS DEL MODELO SECCION A</b>	
	<small>Toda la información expuesta en estos dibujos es propiedad intelectual de Brizgina Daza García, queda prohibida la reproducción parcial o total de estos, sin previo consentimiento de la autora.</small>	ESCALA 1:2	HOJA 2 DE 13	

# PERSPECTIVA ISOMÉTRICA



DIBUJADO Brizgina Daza García		21/01/2015		UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA		
REVISADO Rubén Hernandez		21/01/2015		TITLE		
APROBADO				IMPLEMENTACION DE REDES NEURONALES EN UN SISTEMA DE PREDICCIÓN CLIMATICA		
 Universidad Piloto de Colombia	A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO LAS MEDIDAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS CON TOLERANCIAS DE $\pm 1\%$		TAMAÑO	NOMBRE DEL DIBUJO		REV
	CONFIDENCIALIDAD		<b>B</b>	<b>VISTA PERSPECTIVA SECCION A</b>		
Toda la información expuesta en estos dibujos es propiedad intelectual de Brizgina Daza García, queda prohibida la reproducción parcial o total de estos, sin previo consentimiento de la autora.		ESCALA 1:1		HOJA 3 DE 13		



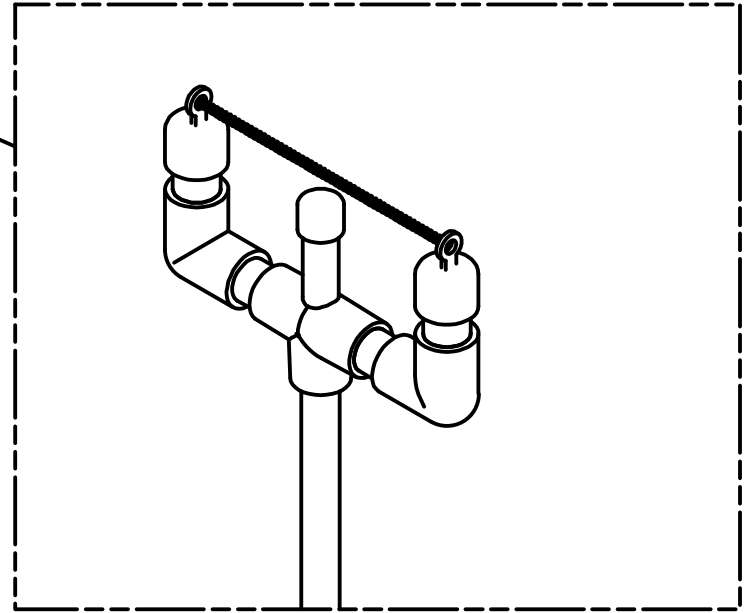
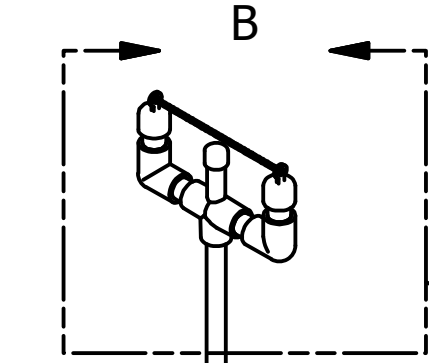
DIBUJADO Brizgina Daza García		21/01/2015		UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA	
REVISADO Rubén Hernandez		21/01/2015		TITLE	
APROBADO		IMPLEMENTACION DE REDES NEURONALES EN UN SISTEMA DE PREDICCIÓN CLIMATICA			
 <b>Universidad Piloto de Colombia</b>	<small>A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO LAS MEDIDAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS CON TOLERANCIAS DE ± 1%</small>		TAMANO	NOMBRE DEL DIBUJO	REV
	CONFIDENCIALIDAD		<b>B</b>	<b>VISTA EXTRUSIONADA SECCION A</b>	
	<small>Toda la información expuesta en estos dibujos es propiedad intelectual de Brizgina Daza García, queda prohibida la reproducción parcial o total de estos, sin previo consentimiento de la autora.</small>		ESCALA	HOJA 4 DE 13	

4

3

2

1




DETALLE B  
ESCALA 0,40 : 1

B

B

A

A

DIBUJADO Brizgina Daza García		21/01/2015		UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA	
REVISADO Rubén Hernandez		21/01/2015			
APROBADO		TITLE			
 <p>CONFIDENCIALIDAD</p> <p>Toda la información expuesta en estos dibujos es propiedad intelectual de Brizgina Daza García, queda prohibida la reproducción parcial o total de estos, sin previo consentimiento de la autora.</p>		IMPLEMENTACION DE REDES NEURONALES EN UN SISTEMA DE PREDICCIÓN CLIMATICA			
		TAMANO <b>B</b>	NOMBRE DEL DIBUJO <b>DETALLE SECCION SUPERIOR</b>		REV
		ESCALA 0,40:1			HOJA 5 DE 13

4

3

2

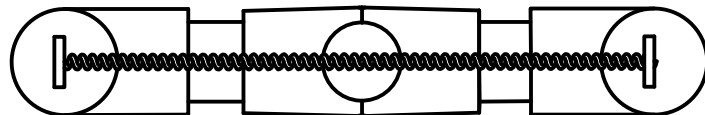
1

4

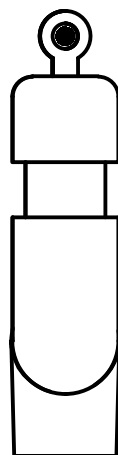
3

2

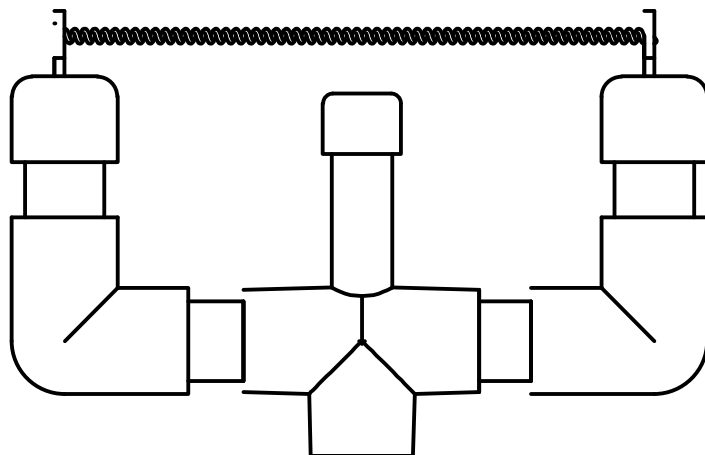
1



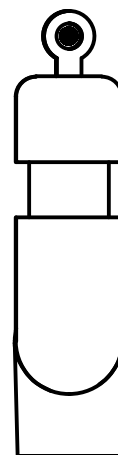
VISTA SUPERIOR



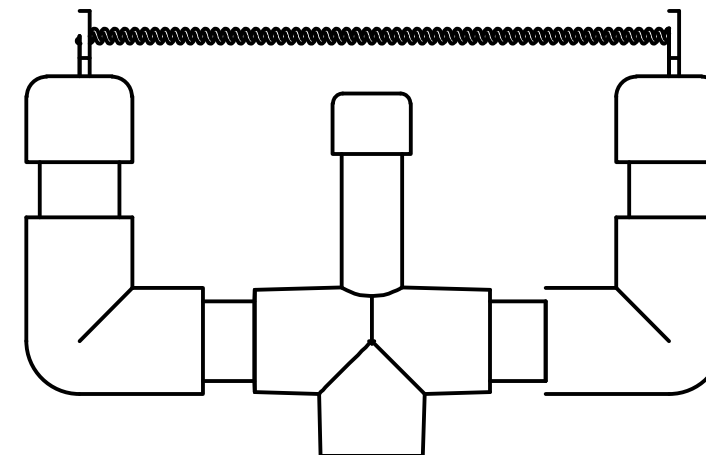
VISTA LATERAL DERECHA



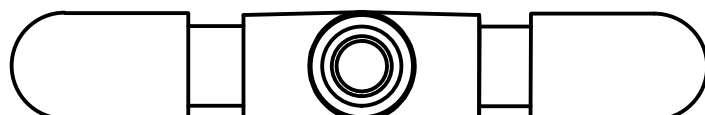
VISTA ANTERIOR




VISTA LATERAL IZQUIERDA



VISTA POSTERIOR



VISTA INFERIOR

DIBUJADO Brizgina Daza García		21/01/2015		UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA	
REVISADO Rubén Hernandez		21/01/2015		TITLE	
APROBADO		IMPLEMENTACION DE REDES NEURONALES EN UN SISTEMA DE PREDICCIÓN CLIMATICA			
 Universidad Piloto de Colombia	A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO LAS MEDIDAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS CON TOLERANCIAS DE ± 1%		CONFIDENCIALIDAD		TAMAÑO
	Toda la información expuesta en estos dibujos es propiedad intelectual de Brizgina Daza García, queda prohibida la reproducción parcial o total de estos, sin previo consentimiento de la autora.		<b>B</b>		NOMBRE DEL DIBUJO
			ESCALA 0,66:1		<b>VISTAS DEL MODELO SECCION B</b>
				REV	
				HOJA 6 DE 13	

B

B

A

A

A

A

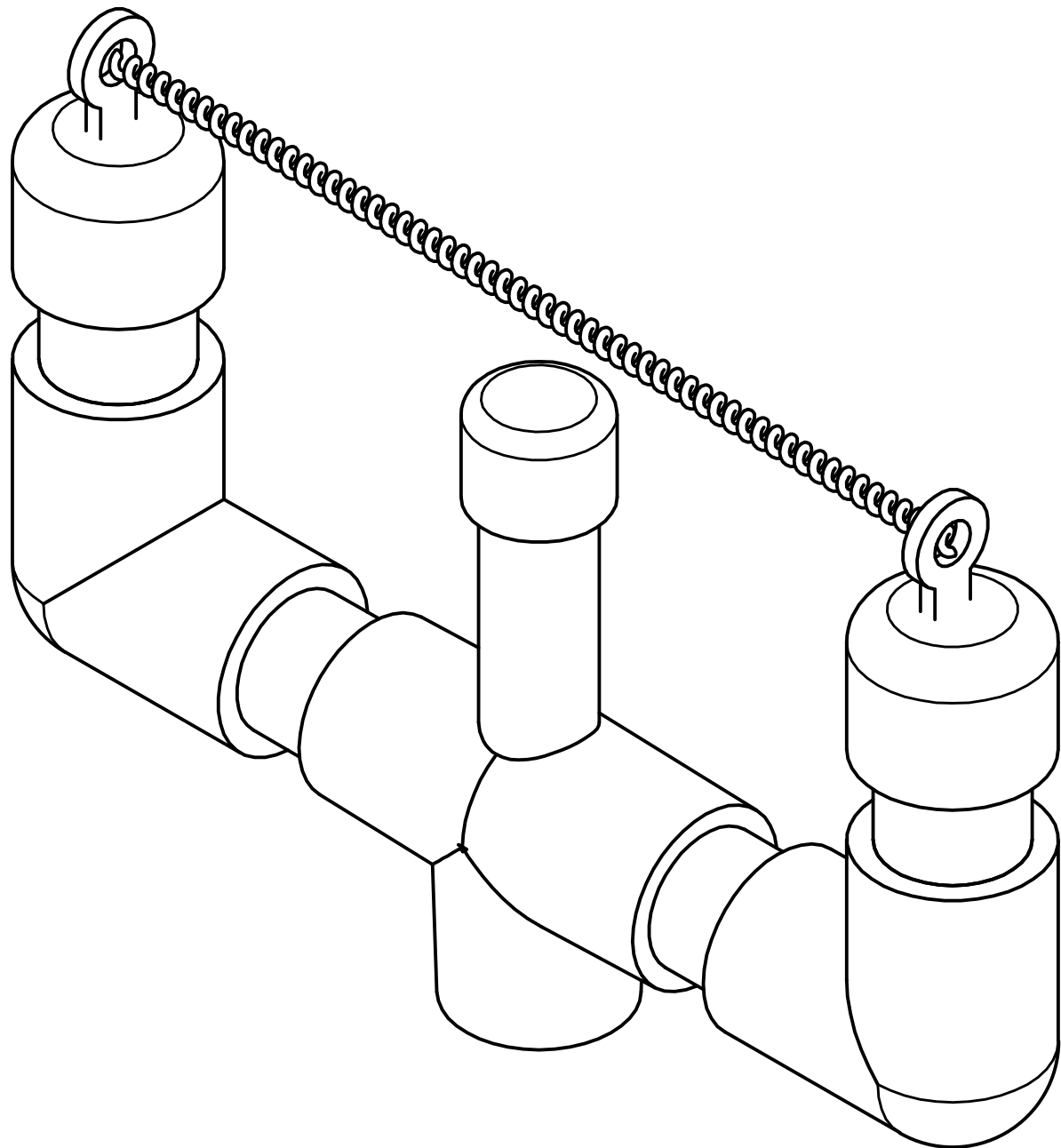
4


3

2

1

# PERSPECTIVA ISOMÉTRICA



DIBUJADO Brizgina Daza García		21/01/2015		UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA	
REVISADO Rubén Hernandez		21/01/2015			
APROBADO		TITLE			
 <b>Universidad Piloto de Colombia</b>		A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO LAS MEDIDAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS CON TOLERANCIAS DE $\pm 1\%$			
		IMPLEMENTACION DE REDES NEURONALES EN UN SISTEMA DE PREDICCIÓN CLIMATICA			
CONFIDENCIALIDAD		TAMANO	NOMBRE DEL DIBUJO		REV
Toda la información expuesta en estos dibujos es propiedad intelectual de Brizgina Daza García, queda prohibida la reproducción parcial o total de estos, sin previo consentimiento de la autora.		<b>B</b>		<b>VISTA PERSPECTIVA SECCION B</b>	
		ESCALA			HOJA 7 DE 13
		1:1			

4

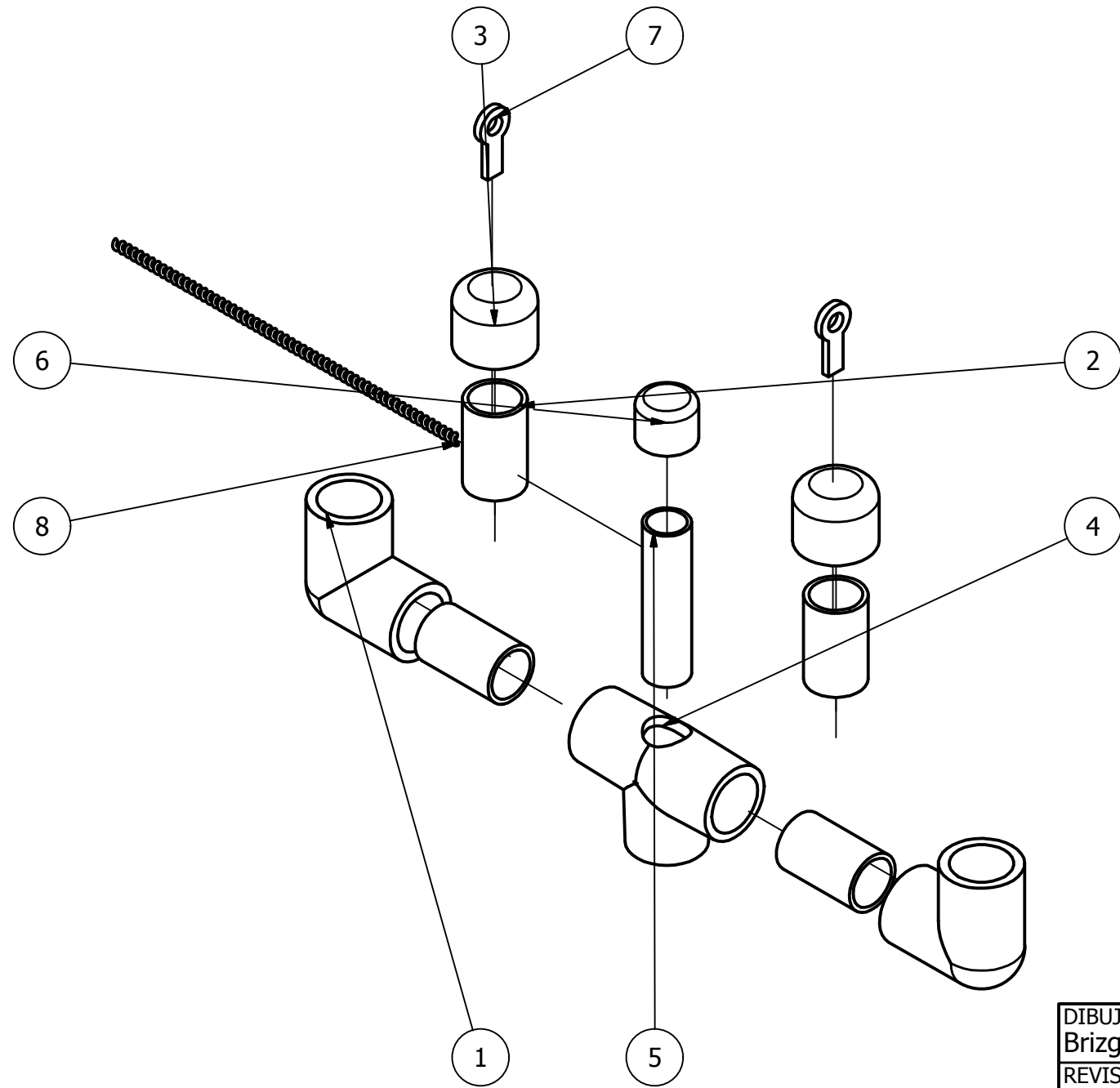
3

2

1

B

B



A

A

A


A

4

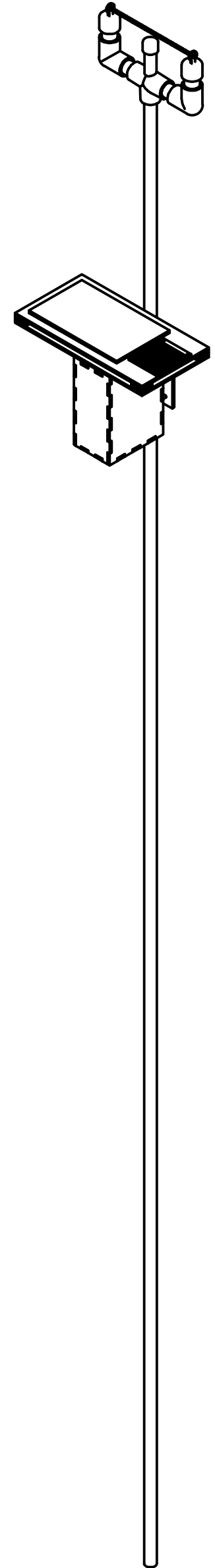
3

2


1

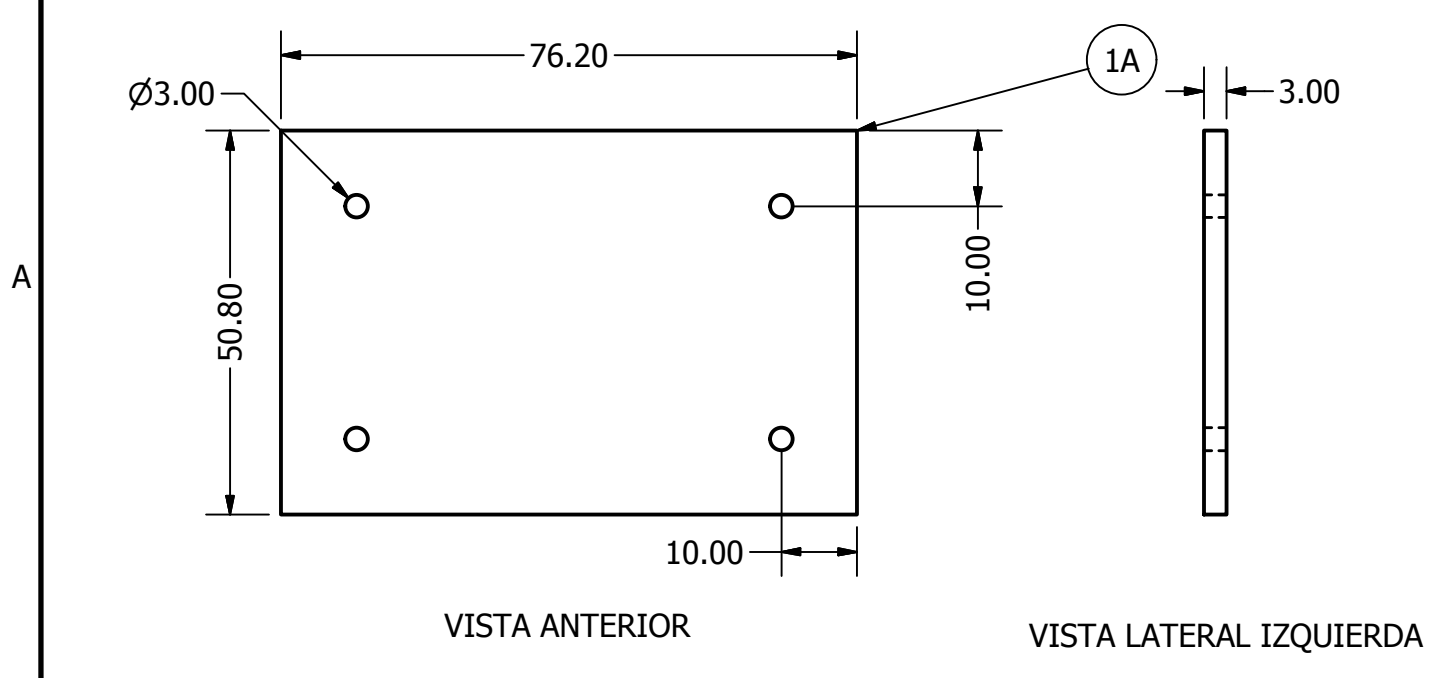
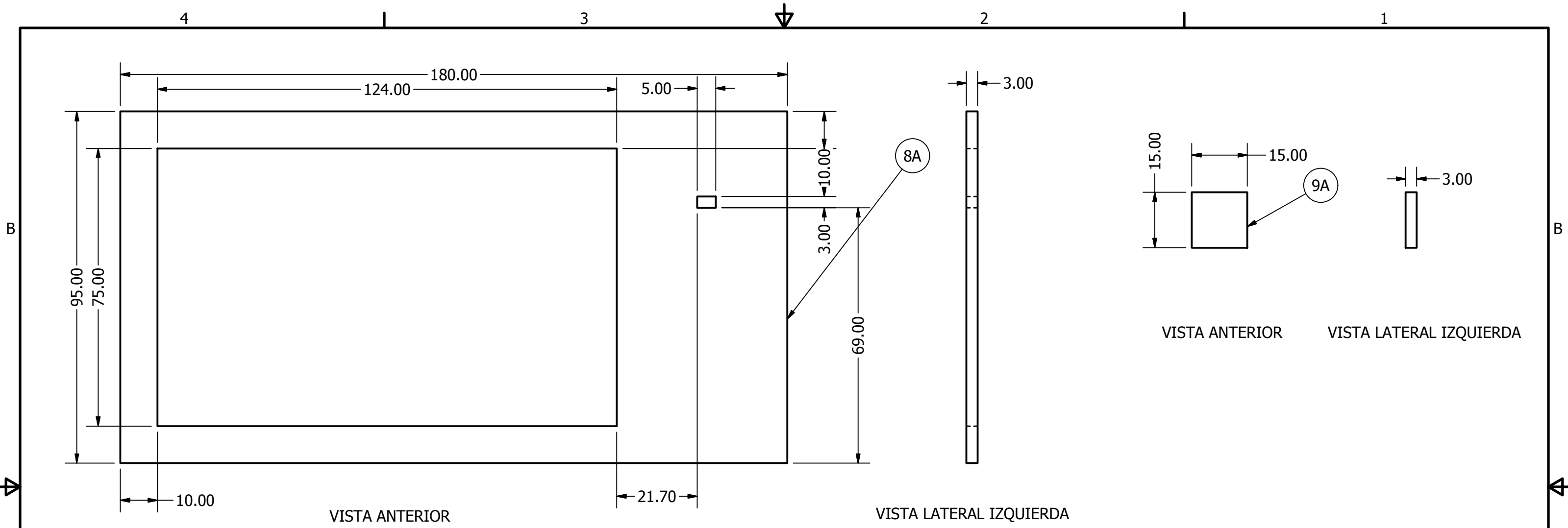
DIBUJADO Brizgina Daza García		21/01/2015		UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA	
REVISADO Rubén Hernandez		21/01/2015		TITLE	
APROBADO		IMPLEMENTACION DE REDES NEURONALES EN UN SISTEMA DE PREDICCIÓN CLIMATICA			
 Universidad Piloto de Colombia	A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO LAS MEDIDAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS CON TOLERANCIAS DE ± 1%		TAMAÑO	NOMBRE DEL DIBUJO	
	CONFIDENCIALIDAD		<b>B</b>	<b>VISTA EXTRUSIONADA SECCION B</b>	
	Toda la información expuesta en estos dibujos es propiedad intelectual de Brizgina Daza García, queda prohibida la reproducción parcial o total de estos, sin previo consentimiento de la autora.		ESCALA 1:2	HOJA 8 DE 13	


LISTA DE PARTES SECCION A			
ITEM	CANT	NOMBRE PARTE	DESCRIPCION
1	1	PLATINA DE SUJECION	
2	1	SENSOR DE HUMO	MQ9
3	1	SENSOR DE LLUVIA	HL-69
4	1	SENSOR HUMEDAD SUELO	YL-83
5	4	ANSI B18.6.7M - M3x0,5 x 25	Cross Recessed Pan Head Machine Screw - Type I - Metric
6	8	ANSI B 18.2.4.1 M - M3 x 0,5	Hex Nut
7	1	PANEL FOTOVOLTAICO	
8	2	PLATINA SUPERIOR	
9	8	PLATINA SOPORTE AUXILIAR	
11	3	Lado C	
12	1	Lado A	
13	1	Lado B	
15	1	Lado A modificado	
16	1	Lado B Modificado	

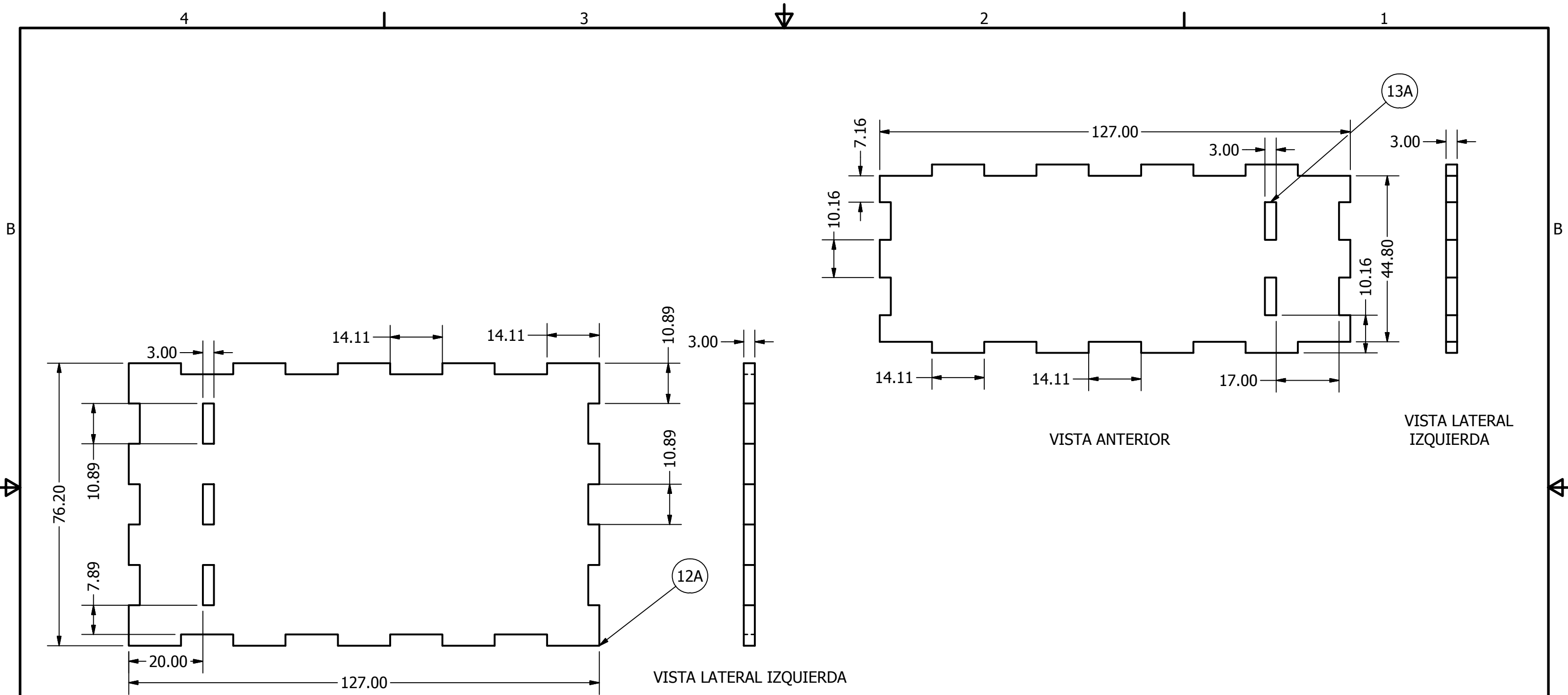



LISTA DE PARTES SECCION B			
ITEM	CANT	NOMBRE PARTE	DESCRIPTION
1	2	CODO PVC	
2	4	UNION TUBO	
3	2	PROTECCION TUBO	
4	1	UNION TIPO "T" PVC	
5	1	UNION CENTRAL TUBO	
6	1	PROTECCION UNION CENTRAL	
7	2	ARMELLA	
8	1	RESISTENCIA DE HILO	

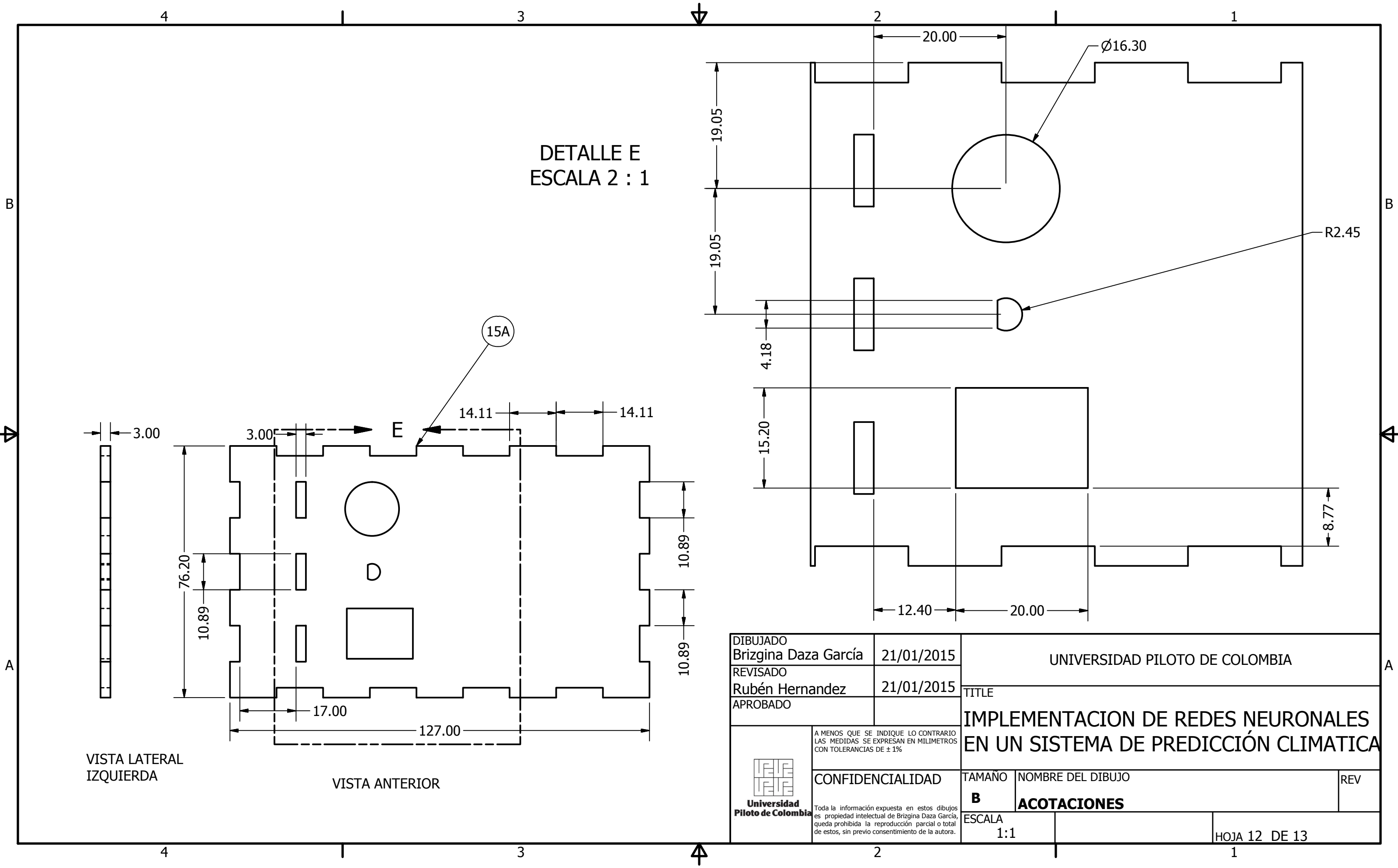
DIBUJADO Brizgina Daza García		21/01/2015		UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA	
REVISADO Rubén Hernandez		21/01/2015			
APROBADO		TITLE			
 <p>CONFIDENCIALIDAD</p>		IMPLEMENTACION DE REDES NEURONALES EN UN SISTEMA DE PREDICCIÓN CLIMATICA			
		TAMANO <b>B</b>	NOMBRE DEL DIBUJO <b>TABLA DE PIEZAS</b>		REV
<p>A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO LAS MEDIDAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS CON TOLERANCIAS DE ± 1%</p> <p>Toda la información expuesta en estos dibujos es propiedad intelectual de Brizgina Daza García, queda prohibida la reproducción parcial o total de estos, sin previo consentimiento de la autora.</p>		ESCALA		HOJA 9 DE 13	



DIBUJADO Brizgina Daza García		21/01/2015		UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA	
REVISADO Rubén Hernandez		21/01/2015		TITLE	
APROBADO		IMPLEMENTACION DE REDES NEURONALES EN UN SISTEMA DE PREDICCIÓN CLIMATICA			
 <b>Universidad Piloto de Colombia</b>	A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO LAS MEDIDAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS CON TOLERANCIAS DE $\pm 1\%$		TAMAÑO	NOMBRE DEL DIBUJO	
	CONFIDENCIALIDAD		<b>B</b>	<b>ACOTACIONES</b>	
	<small>Toda la información expuesta en estos dibujos es propiedad intelectual de Brizgina Daza García, queda prohibida la reproducción parcial o total de estos, sin previo consentimiento de la autora.</small>		ESCALA 1:1	HOJA 10 DE 13	



DIBUJADO Brizgina Daza García		21/01/2015		UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA	
REVISADO Rubén Hernandez		21/01/2015		TITLE	
APROBADO		IMPLEMENTACION DE REDES NEURONALES EN UN SISTEMA DE PREDICCIÓN CLIMATICA			
 <b>Universidad Piloto de Colombia</b>	A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO LAS MEDIDAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS CON TOLERANCIAS DE ± 1%		TAMAÑO	NOMBRE DEL DIBUJO	
	CONFIDENCIALIDAD		<b>B</b>	<b>ACOTACIONES</b>	
	<small>Toda la información expuesta en estos dibujos es propiedad intelectual de Brizgina Daza García, queda prohibida la reproducción parcial o total de estos, sin previo consentimiento de la autora.</small>		ESCALA 1:1	HOJA 11 DE 13	



DETALLE E  
ESCALA 2 : 1

3.00

76.20

10.89

3.00

17.00

127.00

14.11

14.11

10.89

10.89

10.89

19.05

19.05

4.18

15.20

12.40

20.00

20.00


Ø16.30

R2.45

8.77

VISTA LATERAL  
IZQUIERDA

VISTA ANTERIOR

DIBUJADO Brizgina Daza García		21/01/2015		UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA	
REVISADO Rubén Hernandez		21/01/2015		TITLE	
APROBADO		IMPLEMENTACION DE REDES NEURONALES EN UN SISTEMA DE PREDICCIÓN CLIMATICA			
 Universidad Piloto de Colombia	A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO LAS MEDIDAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS CON TOLERANCIAS DE ± 1%		TAMAÑO	NOMBRE DEL DIBUJO	
	CONFIDENCIALIDAD		<b>B</b>	<b>ACOTACIONES</b>	
	Toda la información expuesta en estos dibujos es propiedad intelectual de Brizgina Daza García, queda prohibida la reproducción parcial o total de estos, sin previo consentimiento de la autora.		ESCALA 1:1	HOJA 12 DE 13	



# Anexo 3. Redes Neuronales Artificiales con Matlab®

## Redes Perceptrón Multicapa

El perceptrón multicapa con conexiones hacia adelante es una generalización del perceptrón simple. Surge como respuesta a los problemas que tenía dicha red, como por ejemplo, no poder resolver problemas que no fueran linealmente separables. De hecho, algunos autores han demostrado que el perceptrón multicapa es un aproximador universal de cualquier función continua en el espacio  $\mathbb{R}^n$ .

### Arquitectura del perceptrón multicapa

La arquitectura de este tipo de red se caracteriza porque tiene todas sus neuronas agrupadas en distintos niveles llamados capas. El primer nivel corresponde a la capa de entrada, que se encarga únicamente de propagar por el resto de la red las entradas recibidas. El último nivel es el de la capa de salida. Se encarga de proporcionar los valores de salida de la red. En las capas intermedias denominadas capas ocultas, se realiza un procesamiento no lineal de los patrones recibidos.

Las conexiones del perceptrón multicapa son hacia adelante. Generalmente todas las neuronas de un nivel se conectan con todas las neuronas de la capa inmediatamente posterior. A veces, dependiendo de la red, se encuentran conexiones de neuronas que no están en niveles consecutivos, o alguna de las conexiones entre dos neuronas de niveles consecutivos no existe, es decir, el peso asociado a dicha conexión es constante e igual a cero. Además, todas las neuronas de la red tienen un valor umbral asociado. Se suele tratar como una entrada cuyo valor es constante e igual a uno, y lo único que varía es el peso asociado a dicha conexión que es el umbral realmente.

Por otro lado, las funciones de activación que se suelen utilizar son la función identidad, la función sigmoideal y la función tangente hiperbólica. A continuación se muestran sus respectivas expresiones.

Función	Representación
Identidad	$f_1(x) = x$
Sigmoideal	$f_2(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$
Tangente Hiperbólica	$f_3(x) = \frac{1-e^{-x}}{1+e^{-x}}$

La principal diferencia entre la función sigmoideal y la función tangente hiperbólica es el rango de sus valores de salida. Mientras que para la primera su rango es  $[0,1]$ , para la segunda es  $[-1,1]$ . De hecho existe una relación entre las dos. Se relacionan mediante la expresión  $f_2(x) = 2f_1(x) - 1$ , por lo que la elección entre una u otra se elige en función del recorrido que interese.

### Creación de la red

En Matlab® se crea una red perceptrón multicapa con conexiones hacia adelante utilizando la función `newff`. Esta función devuelve una variable que representa a la red, los argumentos de entrada de esta función se describen a continuación de acuerdo al orden en que deben ser programados:

- `R` que es una matriz cuyo número de filas es el número de entradas, y su número de columnas es igual a 2. Esta matriz debe señalar los valores mínimos y máximos que pueden tomar cada una de las entradas a la red.

- [Slayer1, Slayer2, ...] es un vector que describe el número de neuronas que tienen todas las capas ocultas de la red y el número de neuronas de salida. Así mismo el tamaño de dicho vector permite conocer al programa el número de capas que debe tener la red que se va a crear.

- {Funciones} es un vector de varias cadenas de caracteres en el que se señala las funciones de activación que va a poseer todas las neuronas de una capa. Así, la primera cadena señala la función de activación de las neuronas de la primera capa oculta, la segunda señala la función de las neuronas de la segunda capa, y así sucesivamente. Por ello, este vector debe tener tantas cadenas como capas vaya a tener la red. Para que la función de activación sea lineal, la cadena debe ser 'purelin', para que esta sea una función tangente hiperbólica se debe escribir 'tansig', y para indicar que queremos una función sigmoideal escribiremos 'logsig'. Por defecto Matlab® utiliza la función tangente hiperbólica.

- En el siguiente argumento se indica el tipo de entrenamiento que va a seguir nuestra red, por defecto Matlab® aplica el entrenamiento trainlm.

## Simulación de la red

Para obtener las salidas de una determinada red ante unas entradas se utiliza la función sim. Esta función devuelve un vector cuyas componentes son las salidas que se obtienen de cada neurona de salida de la red. A dicha función se le introducen como argumentos el nombre del objeto que representa a la red en Matlab, y el vector de entradas a la red.

Se pueden obtener varias simulaciones de un tiempo introduciendo una matriz, cuyos vectores sea cada uno de los vectores de entrada de los que se quiere obtener su salida. De esta manera, si se tiene una red "net" de la que se quiere obtener su respuesta ante unas entradas "a", se escribe en Matlab® la siguiente línea de código.

```
p=sim (net,a);
```

## Entrenamiento

Como se ha comentado anteriormente, el entrenamiento de la red consiste en presentarle unas entradas y sus correspondientes salidas (que son conocidas propiamente), para que la red vaya reajustando su salida mediante la modificación de sus pesos y valores umbrales, de manera que el error de actuación de la red se minimice. Dicho valor Matlab® lo almacena en la variable net.performFcn. La medida del error por defecto en Matlab es el error medio cuadrático, que viene dado por la expresión:

$$E(n) = \frac{1}{N} \sum \sum (s_p(n) - y_y(n))^2 \quad (4.1)$$

Para indicar que se quiere utilizar esta definición del error en Matlab®, la variable net.performFcn debe igualarse a mse (en cualquier caso, este valor lo toma por defecto).

Para entrenar una red en Matlab® se utiliza la función train. Dicha función utiliza como argumentos el nombre de la red que se quiere entrenar que anteriormente ha debido ser creada y los patrones, compuestos por unos vectores de entradas (unidos en una matriz "a") y sus correspondientes salidas (todas ellas en una matriz "p"). De esta manera la línea de código que se deberá escribir es:

```
[net,pr] = train (net,a,p);
```

La variable pr contiene información sobre el proceso de entrenamiento y la variable net contiene a la red ya entrenada, es decir con sus pesos y valores umbrales ajustados. Por otro lado, destacar que esta función utiliza una serie de variables para definir el entrenamiento y que pueden definirse con anterioridad. Estas variables var.an según el tipo de entrenamiento utilizado por lo que se hablar. de ellas cuando se describan como se definen los diferentes algoritmos de aprendizaje en Matlab®.

Se pueden utilizar diferentes tipos de entrenamiento para las redes del tipo multiperceptrón. A continuación se describirán algunas de ellas.

### Regla delta generalizada

El algoritmo se basa en actualizar los pesos y valores umbrales en la dirección del gradiente de la función del error. Existen dos formas de actualizar los pesos, se puede realizar en el modo conocido en Matlab® como incremental mode, bajo el cual los pesos son actualizados en cada entrada de un patrón, o utilizar el Batch mode bajo el cual estos no son actualizados hasta que todos los patrones no se hayan introducido en la red. Es decir, solo se actualizan cuando se termina una época de entrenamiento. A no ser que se indique lo contrario se utilizará éste último modo. Para ejecutar el entrenamiento en Batch mode es necesario introducir los patrones en forma de matriz.

Para utilizar este entrenamiento básico (regla delta generalizada), se introduce en el argumento correspondiente al entrenamiento la cadena 'traingd'. Existen siete parámetros asociados con este tipo de entrenamiento estos son:

- ephocs: Define el máximo número de .pocas de entrenamiento que puede tener nuestro proceso de aprendizaje.
- show: Indica a Matlab® la forma de visualización que deseamos tener durante el entrenamiento de la red. Si su valor es Nan quiere decir que no se quiere ningún tipo de visualización.
- goal: Este variable indica un valor mínimo límite que puede alcanzar la función error de la red. Si ésta alcanza dicho valor el entrenamiento se parar. automáticamente.
- time: Este parámetro indica el tiempo máximo en segundos que puede durar el entrenamiento de la red. Una vez que el tiempo del proceso alcance dicho valor el entrenamiento se detendrá.
- min\_grad: Determina el valor mínimo necesario que debe tener el gradiente para detener el algoritmo.
- max\_fail: Es el máximo número de iteraciones que puede incrementarse el error de validación antes de detenerse el entrenamiento.
- lr: Es el ratio de aprendizaje  $\alpha$ .

Para llamar a estos parámetros se utiliza la siguiente línea de código (en el caso de que se llame a la variable ephocs, para cualquier otro parámetro se actuará del mismo modo):

```
net.trainParam.ephocs = 50;
```

### Regla delta generalizada con la introducción de un momentum:

Este algoritmo es una variante del anterior. En él se introduce un momento que le permite aminorar los saltos cuando se está acercando al mínimo e ignorar mínimos locales.

Para señalar que queremos este tipo de entrenamiento hay que introducir la cadena traingdm en el lugar apropiado. El único parámetro nuevo con respecto al anterior método es el momento. Éste está almacenado en la variable mc. Para acceder a esta variable se procede de la misma forma que con los anteriores métodos.

Los siguientes entrenamientos que se describen poseen un mayor orden de convergencia que los dos anteriores. Se dividen en dos categorías, los que utilizan técnicas heurísticas y los que utilizan técnicas de optimización.

### Ratio de aprendizaje variable

Este algoritmo va variando el ratio de aprendizaje para que el orden de convergencia sea mayor. La cadena que hay que introducir para implementar este tipo de entrenamiento es traingda. Las nuevas variables que hay que controlar son, por un lado, el factor de amplificación máximo que puede tener el error entre una época y la siguiente, que se almacena en la variable max\_perf\_inc, el factor de reducción que en su caso se aplique al ratio de aprendizaje, que se almacena en lr\_dec, y el factor de amplificación que se le aplica cuando el error obtenido es menor que en la iteración anterior, que se encuentra almacenado en la variable lr\_inc.

Existe otra función que implementa un entrenamiento similar a traingda pero que incluye un momentum. Es invocado con la cadena traingdx. La única salvedad con el último es que hay que tener en cuenta la variable mc que almacena el valor del momentum.

### Método elástico de retro propagación

Este algoritmo se utiliza cuando la red tiene funciones de activación sigmoideas, para evitar la lenta convergencia que se puede dar en este tipo de redes cuando las entradas a las neuronas son muy grandes. Para ello, no utiliza el valor del gradiente para la actualización de pesos, sino que la magnitud del cambio viene definido por otra variable. Para ello Matlab® define `delt_inc` para mejorar la magnitud del cambio si los signos de las derivadas coinciden en dos iteraciones consecutivas, `delt_dec` para minorarlo cuando esto no sucede. Además, también se definen la magnitud inicial del cambio mediante la variable `delta` y el valor máximo que puede tomar dicha magnitud, que se almacena en la variable `deltamax`. Para implementar este tipo de entrenamiento se utiliza la cadena `trainrp`.

### Métodos de orden de convergencia mayor

Los algoritmos anteriores, basados en la regla delta generalizada se basan en cambiar los pesos en la dirección de máximo crecimiento del error. Pero ésta no tiene por que ser la dirección por donde más rápido se converge. En esta idea se basan estos algoritmos. Por un lado tenemos la actualización de Fletcher Reeves y por otro, tenemos el algoritmo de Newton. Todos estos algoritmos utilizan demasiada memoria, ya que para calcular la dirección de actualización utilizan la matriz hessiana que contiene derivadas segundas, por lo que en la práctica se utiliza aproximaciones de estos.

Así tenemos los algoritmos de cuasi-Newton que no calculan las derivadas segundas sino que utilizan la secante. Por último, el algoritmo de entrenamiento que por defecto utiliza Matlab® es el algoritmo de Levenberg-Marquardt. la cual aproxima la matriz hessiana mediante la matriz jacobiana.

Existe en la formulación un parámetro `T`. Las nuevas variables a controlar en este algoritmo son `mu_dec`, `mu_inc`, `mu_max`, `mem_reduc`. Este último parámetro sirve para controlar la memoria usada en el algoritmo. Dicho entrenamiento se implementa mediante la cadena de caracteres `trainlm`.

### Métodos que se pueden utilizar en Matlab para mejorar la capacidad de generalización de la red.

Uno de los problemas que ocurre durante el entrenamiento de la red es el sobre aprendizaje, que inhibe la capacidad de generalización de la red. De forma que, el método mas común para evitar el sobre aprendizaje es diseñar un entrenamiento con la extensión justa, pero es imposible saber de antemano cual debe ser el tamaño de la muestra para una aplicación específica. Por ello existen dos métodos que se han implementado en Matlab® para mejorar la capacidad de generalización de la red. Así tenemos el método de regularización, y el de parada temprana (`early stop`).

- Regularización: Este método implica modificar la definición de la función error utilizada en el entrenamiento. Normalmente esta es la suma de los cuadrados de las diferencias entre la entrada patrón y la obtenida. Esta sección explica cómo puede ser modificada la función error, y la siguiente describe una rutina que obtiene la definición óptima de la función error para obtener buenas propiedades de generalización de la red.

- Función del error modificada: Normalmente la función error se define como la media de los cuadrados de las diferencias entre las salidas patrón y la salidas obtenidas de la red. Si a esta expresión le añadimos un término consistente en la media de los cuadrados de los pesos de la red y valores umbrales mejoramos la generalización de la red.

$$msereg = \gamma * mse + (1 - \gamma) msw \quad (4.2)$$

$$msw = \frac{1}{k} \sum w_j^2 \quad (4.3)$$

Donde  $\gamma$  es un parámetro, y `mse` la función error definida anteriormente. Esta definición de la función error provoca que los pesos de la red obtenidos sean pequeños, lo que fuerza una respuesta más suave de la red y hace menos probable el fenómeno de sobre aprendizaje.

En Matlab® esto se introduce modificando el valor de la variable `net.perforFcn` al valor 'msereg'. El problema de este método es conocer el valor óptimo del parámetro  $\gamma$ , si es muy grande puedes provocar

sobre aprendizaje, si es demasiado pequeño, la red no se adecúa bien a los datos de aprendizaje. Este valor se modifica mediante la siguiente línea de código:

```
net.performParam.ratio = 0.5;
```

- Parada temprana: Esta técnica divide los datos disponibles en tres partes. La primera parte es el conjunto de entrenamiento que es usada para computar el gradiente y para la actualización de los pesos y valores umbrales. El segundo subconjunto es el de validación. Normalmente el error de validación es monitorizado durante el proceso de entrenamiento. Normalmente este error va decreciendo a medida que transcurre el entrenamiento, pero en el caso de que se produzca sobre aprendizaje, este error comienza a crecer. Cuando el error de validación comienza a crecer en un especificado número de iteraciones en la variable `net.trainParam.max_fail`, se detiene el entrenamiento y se utilizan los pesos y umbrales de la iteración de menor error de validación.

El tercer subconjunto es el de generalización. No es usado durante el entrenamiento pero es útil para comparar distintos modelos. Puede ser útil también graficar este error durante el entrenamiento. Si este error muestra un mínimo en un número de iteraciones significativamente diferente al de error de validación, puede mostrar una pobre división de los datos.

Este método se utiliza conjuntamente con cualquiera de los otros métodos de entrenamiento descritos anteriormente. A continuación se muestra un ejemplo de cómo se implementa este método en Matlab:

```
p = [-1:0.05:1];
t = sin(2*pi*p)+0.1*randn(size(p));
val.P = [-0.975:0.05:0.975];
val.T = sin(2*pi*v.P)+0.1*randn(size(v.P));
net=newff([-1 1],[20,1],{'tansig','purelin'},'traingdx');
net.trainParam.show = 25;
net.trainParam.epochs = 300;
net = init(net);
[net,tr]=train(net,p,t,[],[],val);
```

La única diferencia es que se ha separado los patrones en patrones de entrenamiento y patrones de validación aleatoriamente, en las cuatro primeras líneas de código.

## Preproceso y postproceso

El entrenamiento de la red puede ser más eficiente si se realiza una serie de transformaciones en las entradas y salidas de la red. A continuación se describe las rutinas de preproceso que se pueden usar.

- Min y Max. `mapminmax`: Antes del entrenamiento se suele escalar las entradas y salidas para que siempre pertenezcan a un determinado rango. El siguiente código muestra como se utiliza esta función.

```
[pn,ps] = mapminmax(p);
[tn,ts] = mapminmax(t);
net = train(net,pn,tn);
```

Las entradas y salidas originales de la red se encuentran en las matrices “p” y “t” respectivamente. Las entradas y salidas normalizadas se obtienen de las variables `pn` y `tn`. Las variables `ps` y `ts` contienen los valores máximos y mínimos de las entradas y salidas originales respectivamente. Cuando la red ya ha sido entrenada, la variable `ps` puede ser utilizada para transformar las futuras entradas a la red. Y lo mismo para volver a transformar las salidas, pero utilizando la variable `ts`.

A continuación se muestra un trozo de código para hacer esto último:

```
an = sim (net,pn);
a=mapminmax('reverse',an,ts);
```

Y para escalar las nuevas entradas de la red se utiliza el siguiente código:

```

pnew = mapminmax('apply',pnew,ps);
anew = sim(net,pnew);
anew = mapminmax('reverse',anew,ts);

```

- Función mapstd: Otra manera de escalar las entradas y salidas de la red es normalizarlo para que la media de los valores sea cero y tengan una desviación estándar igual a la unidad. Para ello se utiliza la función mapstd, tal y como se muestra a continuación:

```

[pn,ps] = mapstd(p);
[tn,ts] = mapstd(t);

```

En este caso ps y ts contienen la media y desviación estándar original. Estos valores son utilizados posteriormente para escalar las nuevas entradas y salidas de la red, de una forma similar a como se hizo con la función mapminmax. La siguiente sección es una rutina de postproceso útil para analizar el comportamiento de la red.

- Análisis de la red entrenada: A menudo es útil investigar la respuesta de la red con más detalle. Una manera es realizar un análisis de regresión entre la respuesta de la red y sus salidas patrón. Esto se hace con ayuda de la función postreg. A la función postreg hay que introducirle la salida de la red y la salida esperada de la misma, ésta te devuelve tres valores, los dos primeros corresponden a la pendiente y a la ordenada en el origen de la recta de regresión, y el tercero al grado de correlación de los datos. Si el grado de correlación de datos es igual a la unidad quiere decir que la respuesta de la red ante esas entradas es perfecta.

## Redes neuronales de base radial

Las redes neuronales de base radial podr.an requerir más neuronas que las redes neuronales estándar de retro propagación. Pero su entrenamiento es similar a éstas. Trabajan mejor cuando hay muchos datos de entrenamiento disponibles.

### Creación de red

Las redes neuronales de base radial pueden ser implementadas con cualquiera de estas dos funciones, newrbe y newrb.

- Función newrbe: Esta función coge una matriz de vectores de entrada y sus correspondientes salidas patrón y una constante SPREAD, que señala el campo de actuación de cada neurona, y devuelve una red cuyos pesos y valores umbrales son tal, que devuelve exactamente las salidas esperadas P para las entradas A. Su sintaxis en Matlab es la siguiente:

```
net = newrbe(A,P,SPREAD);
```

Esta función crea una red cuya capa de neuronas de base radial tiene un número de neuronas igual al número de entradas diferentes que se le proporciona a la red durante su entrenamiento. De esta manera cada neurona de esta capa actúa como un detector de un tipo de entrada en concreto. Como se ha dicho antes la red tiene un error cero para los valores de entrada.

La constante SPREAD es muy importante porque definir. el campo de actuación de cada neurona. Por ejemplo si dicha constante tiene un valor cuatro, la neurona responder. con un valor 0.5 a cualquier entrada que se encuentre a una distancia euclídea de cuatro con respecto a su centro de actuación. Debe ser lo suficientemente grande para que las neuronas actúen correctamente en regiones de solapamiento. Ello provoca que la respuesta de la red sea muy suave y que tenga buena capacidad de generalización. El problema estriba, en que si se necesitan demasiados vectores de entrada para caracterizar correctamente la red, ésta tendrá en su capa oculta demasiadas neuronas.

- Función newrb: Esta función se puede emplear de otra forma para generar una red más eficiente. En este método, la función crea la red de forma iterativa, creando una neurona más en cada iteración. Las neuronas son añadidas hasta que el error medio cuadrático caiga por debajo del parámetro GOAL, o se haya alcanzado un determinado número de neuronas máximo. La sintaxis de dicha función en Matlab es:

```
net = newrb(P, T, GOAL, SPREAD);
```