



**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**

**GUÍA TÉCNICA DE HIDROLOGÍA PARA EL  
ESTUDIO DE VARIABLES  
METEOROLÓGICAS Y SU RELACIÓN CON  
PROCESOS HIDROLÓGICOS, EN LA  
INGENIERÍA CIVIL**

**Autores:** Mariangel Mayorga Rojas.  
Aurimar Nieves Monsalve.

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego  
Teléfono: (0241) 8714240 (máster) – Fax: (0241) 871



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA INGENIERIA CIVIL**

**GUÍA TÉCNICA DE HIDROLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE VARIABLES  
METEOROLÓGICAS Y SU RELACIÓN CON PROCESOS  
HIDROLÓGICOS, EN LA INGENIERÍA CIVIL**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
INGENIERO CIVIL**

**Autores:** Mariangel Mayorga Rojas.

C.I: 26.116.928

Aurimar Nieves Monsalve

C.I: 21.454.006

**Tutor:** Ing. Emerly Castillo S.

C.I: 4.464.524



Universidad José Antonio Páez  
Facultad de Ingeniería

---

FI-CV-019-2018-IICR

Valencia, 31 de Octubre de 2018.

Ciudadanos:

Mariangel Mayorga

C.I: 26.116.928

Aurimar Nieves

C.I: 21.454.006

Presente.-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 01-2018 de fecha 31-10-2018 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado **GUÍA TÉCNICA DE HIDROLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE VARIABLES METEOROLÓGICAS Y SU RELACIÓN CON PROCESOS HIDROLÓGICOS, EN LA INGENIERÍA CIVIL**. Presentado por usted(es) como requisito para optar al título de Ingeniero Civil.

Se ratifica la designación del Ing. Emerly Castillo C.I: 4.464.524 y la Ing. Alicia Yáñez, C.I.: 4.598.880 como Tutores Académicos que lo asesorarán en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,



**Prof. Zulay Salcedo**  
Decana de la Facultad de Ingeniería

c. c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).

ZS/fr



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero Emerly Castillo S. titular de la cédula de identidad N° 4.464.524, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por la(las) ciudadana(s) Nieves Aurimar y Mayorga Mariangel, titular(es) de la cédula de identidad 21.454.006 y 26.116.928, titulado **“GUÍA TÉCNICA DE HIDROLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE VARIABLES METEOROLÓGICAS Y SU RELACIÓN CON PROCESOS HIDROLÓGICOS, EN LA INGENIERÍA CIVIL”**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 14 días del mes de Diciembre del año dos mil dieciocho.

  
Ing. Emerly Castillo S.  
C.I: 4.464.524

## AGRADECIMIENTO

Quiero expresar principalmente nuestro agradecimiento a Dios por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

ÿ **A mis padres**, Cesar Mayorga y Rosa Mayorga Por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas, gracias a mi madre por estar dispuesta a acompañarme cada larga y agotadora noche de estudio; gracias a mi padre por siempre desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida, gracias por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida.

ÿ **A mi familia**, Por estar siempre ayudándome y apoyándome.

ÿ **A la Ing. Emerly Castillo**, nuestra tutora de tesis, por todo el tiempo de dedicación invertido en la ayuda de la culminación de este trabajo de grado, todas sus sugerencias y comentarios, que han contribuido, sin duda, a mejorar el resultado final de esta guía técnica que esperamos sirva de ayuda y disfrute para todo aquél que la utilice. El día de hoy deseo honrar su vida a través de esta dedicatoria, hoy dedico a la Ing. Emerly Castillo esta tesis y agradezco a ella cada momento de dedicación en sus clases, agradezco a ella por desarrollar con excelencia su labor.

ÿ **A los profesores**, Por haber formado parte de nuestra formación profesional, impartiendo en nosotras sus conocimientos en todo nuestro desarrollo en la carrera.

ÿ **A mis compañeros universitarios**, Por todo el apoyo y los ratos memorables que pasamos a lo largo de la carrera.

ÿ **A la Universidad José Antonio Páez**, Por ofrecerme la oportunidad de estudiar la carrera de Ingeniería Civil.

*“El arte supremo del maestro consiste en despertar el goce de la expresión creativa y del conocimiento.”*

Albert Einstein.

## AGRADECIMIENTO

Quiero dedicar mi trabajo especial de grado a Dios y la Virgen María por haberme dado la oportunidad de cumplir esta gran meta, por sus dones y llevarme de su mano en todo momento.

- **A mis padres**, Delia Monsalve y Juan Nieves por siempre apoyarme, a mi madre por su ayuda no solo monetaria en algún momento de mi carrera sino también por anhelar siempre lo mejor para mí, inculcarme buenos valores y su apoyo incondicional.
- **A mi familia**, Por su gran apoyo en el transcurso de mi carrera
- **A mi esposo**, Rubén Araujo por su ayuda monetaria y siempre ser mi apoyo en los momentos difíciles, por su paciencia, por darme ánimos, no permitirme desistir, sus buenos consejos y su compañía durante toda la carrera.
- **A mi hija**, Sofía Araujo por ser mi principal motor para culminar esta etapa.
- **A mis amigos**, A todos mis amigos cercanos por brindarme su apoyo durante mi carrera y sus buenos consejos.

Y **A la Ing. Emerly Castillo**, nuestra tutora de tesis, por todo el tiempo de dedicación invertido en la ayuda de la culminación de este trabajo de grado, todas sus sugerencias y comentarios, que han contribuido, sin duda, a mejorar el resultado final de esta guía técnica que esperamos sirva de ayuda y disfrute para todo aquél que la utilice.

Y **A los profesores**, Por haber formado parte de nuestra formación profesional, impartiendo en nosotras sus conocimientos en todo nuestro desarrollo en la carrera.

Y **A mis compañeros universitarios**, Que nos ayudamos mutuamente en nuestra formación como profesional, y por los buenos momentos compartidos.

Y **A la Universidad José Antonio Páez**, Por ofrecerme la oportunidad de estudiar la carrera de Ingeniería Civil.

*"Intenta no volverte un hombre de éxitos, sino un hombre de valor."*

Albert Einstein.

## ÍNDICE

<b>CONTENIDO</b>	<b>pp</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>xiii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xiv</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>2</b>
<b>EL PROBLEMA .....</b>	<b>2</b>
1.2. Formulación del problema: .....	5
1.3. Objetivos de la investigación: .....	6
1.3.1. Objetivo general: .....	6
1.3.2. Objetivos específicos: .....	6
1.4. Justificación del problema: .....	6
1.5. Alcance y limitación: .....	7
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>8</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>8</b>
2.1. Antecedentes:.....	8
2.2. Bases teóricas: .....	10
2.2.1. Insolación:.....	10
2.2.2. Presión atmosférica: .....	13
2.2.2.1. Aparatos de medición:.....	14
2.2.3. Radiación solar:.....	15
2.2.3.1. Aparatos de medición: .....	16
2.2.3.1. Tipos de radiación:.....	17
2.2.3.2. Importancia de la radiación en la ingeniería civil: .....	18
2.2.3.3. Energía solar: .....	19
2.2.4. Temperatura del aire:.....	21

2.2.5. El viento: .....	23
2.2.5.1. Aparatos de medición: .....	24
2.2.5.2. Importancia de la radiación en la ingeniería civil: .....	25
2.2.5.3. Capa límite: .....	26
2.2.5.4. Energía eólica: .....	29
2.2.6. Sostenibilidad ambiental: .....	32
2.3. Bases Legales: .....	33
2.4. Términos Básicos: .....	34
<b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>35</b>
3.1. Nivel de investigación: .....	35
3.2. Diseño de la investigación: .....	35
3.3. Tipo de la investigación: .....	36
3.4. Población y muestra: .....	36
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos: .....	37
3.5.1. Técnicas: .....	37
3.5.2. Instrumentos: .....	37
3.6. Fases metodológicas: .....	37
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>39</b>
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>39</b>
4.1. Encuesta.....	39
4.2 Fases metodológicas:.....	51
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>53</b>
5.1. Conclusiones: .....	53
5.2. Recomendaciones:.....	54
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>55</b>
<b>APENDICE I.....</b>	<b>57</b>
ENCUESTA.....	57
<b>APENDICE II.....</b>	<b>58</b>

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO .....	58
CUESTIONARIO .....	59
TABLA DE ESPECIFICACIONES .....	60
<b>APENDICE III .....</b>	<b>61</b>
<b>CAPÍTULO VI .....</b>	<b>62</b>
<b>GUÍA TÉCNICA .....</b>	<b>62</b>
6.1. Introducción a la guía técnica .....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CONTENIDO

<b>FIGURA</b>	<b>PP</b>
Figura 1. Barómetro de Torricelli. ....	14
Figura 2. Piranómetro de Radiación Solar Global de clase 1. ....	16
Figura 3. Heliógrafo de Campbell-Stokes.....	17
Figura 4. Esquema del funcionamiento de paneles solares, en una vivienda. ....	21
Figura 5. Termómetro de Mercurio.....	23
Figura 6. Ao-KWD Veleta de precisión.....	24
Figura 7. Anemómetro de molinete. ....	25
Figura 8. Flujo alrededor de diferentes cuerpos.....	28
Figura 9. Esquema de funcionamiento de una central eólica.....	32



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**GUÍA TÉCNICA DE HIDROLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE VARIABLES  
METEOROLÓGICAS Y SU RELACIÓN CON PROCESOS  
HIDROLÓGICOS, EN LA INGENIERÍA CIVIL**

**Autor(es):**

Mayorga, Mariangel.

Nieves, Aurimar.

**Tutor:** Emerly Castillo S.

**Fecha:** enero de 2019.

**RESUMEN**

El conocimiento de los efectos significativos que pueden causar las variables meteorológicas sobre el desarrollo de proyectos, es de vital importancia, es por este motivo, dentro de un pensum de estudios de la carrera de ingeniería civil, se incluye es el estudio de la hidrología, la cual, estudia estos factores meteorológicos, además de otros temas. Actualmente se cuenta con material académico limitado, que pueda facilitar a los estudiantes el entendimiento y estudio de las variables meteorológicas, de acuerdo a lo anteriormente dicho. Se realizará una guía técnica de hidrología, para el estudio de estas variables y su relación con procesos hidrológicos dentro de la ingeniería civil en el marco de la sustentabilidad, el cual, es un proyecto factible de tipo documental, descriptivo, que tiene como objetivo describir y explicar las los fenómenos de radiación, insolación, temperatura del aire, presión atmosférica al igual que vientos, también estudiará los diferentes métodos de cálculo a aplicar, según sea el caso, así como también se generarán ejercicios utilizando data real y resolviéndolos de una manera explicativa, asimismo, se formarán ejercicios propuestos, aplicables a situaciones propias de la ingeniería civil y por último, se ensamblará la guía técnica.

**Descriptor(es): Variables, meteorológicas, hidrológicos, radiación, insolación, temperatura, vientos**

## INTRODUCCIÓN

Entre la Meteorología y la Hidrología existe una relación importante en la cual es de gran importancia destacar, que la primera de ellas, se basa en el conocimiento de una serie variables meteorológicas, como lo son la temperatura, presión atmosférica, insolación, radiación o vientos, las cuales varían en espacio y tiempo; mientras que la Hidrología está enlazada con esta ciencia, debido a que también, uno de los agentes que provocan los cambios atmosféricos y por lo tanto también del clima, es el agua en sus diferentes fases.

En la actualidad, en la ingeniería civil la sustentabilidad busca enfocar el diseño, para que se haga uso de la energía y recursos naturales de manera racional, reduciendo el impacto que se pueda generar en el ambiente a lo mínimo, ya que se toma en cuenta estos factores negativos a corto o largo plazo, con todo ello en consideración se estaría en presencia de un diseño sostenible.

Las fuentes de energía renovables toman más fuerza cada día y estas toman una mayor relevancia, debido a que se obtienen de fuentes naturales ilimitadas como el aire, el sol; donde además la en relación con el uso de los combustibles fósiles.

Al hablar de energías sustentables se tiene la solar, donde se aprovecha la radiación solar; con el fin de generar energía eléctrica o térmica, mediante el uso de los paneles solares, y el aprovechamiento de la fuerza del viento para la generación de energía por medio de aerogeneradores llamada energía eólica, entre otras fuentes que utilizan fuentes distintas como la geotérmica, biomasa, hidroelectricidad en pequeña escala, mareomotriz.

Actualmente, no se cuenta con el suficiente material didáctico como teórico para el estudiante que permita conocer de una manera más sistemática, los cálculos relacionados a las variables meteorológicas en estudio.

De esta manera, el presente estudio consistirá en la elaboración de una guía técnica que permita conocer estas variables meteorológicas y para así darle herramientas al estudiante para enfrentar diversos problemas en el marco de la sustentabilidad ambiental, utilizando herramientas digitales, para que de esta forma sea más fácil comprender los fenómenos de radiación, insolación, temperatura del aire, presión atmosférica al igual que el comportamiento de los vientos.

De tal manera, la presente investigación se encuentra estructurada de la siguiente forma:

**Capítulo I El Problema:** Planteamiento del problema, formulación del problema, objetivo general, objetivos específicos, justificación del problema, alcance y limitaciones.

**Capítulo II Marco Teórico:** Antecedentes de la investigación y bases teóricas

**Capítulo III Marco Metodológico:** Tipo de Investigación, diseño de la investigación, nivel de investigación, población y muestra y fases metodológicas.

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA

### 1.1. Planteamiento del problema:

La Hidrología es una ciencia de la tierra con una relación inseparable con otras ciencias, como la Meteorología y la Climatología.

La Meteorología es la ciencia encargada de los estudios atmosféricos, específicamente de los fenómenos que en ella ocurren a corto plazo en las capas bajas de la atmósfera y de las leyes que constituyen la misma, especialmente la previsión del tiempo, para lograr una comprensión de su funcionamiento, composición, estructura y evolución. Anexo a lo anterior expuesto, se tiene que el estudio de la atmósfera, se basa en el conocimiento de una serie de magnitudes o variables meteorológicas, como lo son la temperatura, presión atmosférica, insolación, radiación o vientos, entre otros, las cuales varían tanto en el espacio como en el tiempo. Por otra parte se debe hablar de la climatología, debido a que esta estudia los climas o el conjunto de condiciones atmosféricas, que son características de una región o lugar determinado. Siendo así importante decir, que la meteorología ha sido desarrollada por físicos mientras que la climatología por geógrafos, por lo que en la actualidad, en la búsqueda de comprender los mecanismos que rigen el clima, ha llevado que entre ambos tipos de especialistas, exista una fuerte cooperación.

Con todo lo mencionado, se hace evidente una relación importante de considerar, por lo que la Hidrología está enlazada con estas ciencias, debido a que también, uno de los agentes que provocan los cambios atmosféricos y por lo tanto también del clima, es el agua en sus diferentes fases, recordando y tomando en consideración que esta ciencia estudia el agua existente en la tierra y su

comportamiento dentro del ciclo hidrológico, así como su relación con el medio natural.

Otro hecho a considerar sería, lo que estas ciencias explicadas anteriormente estudian, por lo que se tendrá desde la microfísica de las nubes, hasta la previsión Meteorológica, pasando por los balances energéticos, la turbulencia o los grandes sistemas convectivos de mesoescala, todo tiene en cuenta, en algún momento determinado, el factor agua, recordando lo indicado en líneas anteriores. También se considera, con igual orden de importancia, el estudio de los procesos hidrológicos de las aguas superficiales, marítimas o subterráneas, donde se debe tener en cuenta la física de la precipitación y evaporación así como las condiciones climáticas que permiten una mejor gestión. Anexado a lo anterior planteado, estas ciencias también estudian, la previsión, predicción y actuación frente a las inundaciones, la evaporación en lagos y embalses, las necesidades hídricas de los cultivos y el riego, los procesos de sequía y desertificación, las reservas hídricas, la erosión debida a la lluvia o las oscilaciones climáticas y su impacto sobre lluvias extremas o recursos hídricos.

Es necesario señalar que la radiación, que corresponde a la emisión, propagación y transferencia de energía en cualquier medio, se produce en forma de ondas electromagnéticas en donde, si bien es cierto, esta emisión solar será la mezcla de radiaciones que son de distinta longitud de onda, en las cuales se puede distinguir tres fracciones: la radiación visible, la ultravioleta y la infrarroja. Ciertamente, para la radiación solar, la atmósfera funciona como un filtro, en la que deja pasar ciertas ondas de determinada longitud y refleja o retiene otras que a esta llegan; sin embargo, se debe destacar que no todos los puntos de la superficie terrestre reciben la misma cantidad de radiación solar.

Por otra parte al hablar de insolación, se tendría que ésta será la cantidad de energía que se manifiesta en forma de radiación solar, que llega a un lugar determinado de la tierra, la cual se tendrá a su vez una acumulación de energía promedio durante un periodo de tiempo determinado, teniendo presente lo expuesto

con anterioridad, esta podrá ser la insolación de un día concreto, conocido como insolación diurna o la referente a un año, teniendo así la insolación anual.

La cualidad que posee la atmósfera, que indica la cantidad de energía solar retenida por el aire en un momento dado, se denomina temperatura. Por lo tanto, se puede afirmar al analizar lo indicado anteriormente, que las temperaturas dependen ante todo de la radiación solar y es por ello que las regiones tropicales, son las zonas del planeta que tienen insolación más intensa.

Si bien es cierto, la presión atmosférica será el peso que ejerce el aire sobre la superficie terrestre. Cabe aclarar, que la presión atmosférica no es uniforme en todos los puntos de la superficie terrestre, al igual que esto ocurre con la radiación, sino que posee cierta variación, que depende de la altura del lugar y su temperatura, por lo que se tiene que a mayor altura y temperatura, se tendrá una menor presión.

Es necesario señalar que los vientos, son masas de aire en constante movimiento, que se trasladan desde las zonas de baja temperatura y alta presión, denominados centros anticiclónicos, hasta las zonas de alta temperatura y baja presión, llamados centros ciclónicos. La dirección y la velocidad de los vientos son dos rasgos característicos.

Las variables meteorológicas son factores que integran el clima de un determinado lugar e inciden en la formación de la precipitación ya que después de caer, se evapora y se eleva a la atmósfera en forma de gas, se condensa y desciende de nuevo, repitiendo este proceso una y otra vez.

Es imprescindible tener en cuenta en la actualidad, el desarrollo sustentable en la ingeniería civil, debido a que esta busca enfocar el diseño o la operación de diversos sistemas, de manera tal, que se haga uso de la energía y recursos sustentables, buscando siempre el menor impacto posible en el ambiente, en donde, se logre no comprometer al mismo o a las futuras generaciones. Es importante destacar que, cuando se habla de diseño, en esta etapa se debe de tomar en cuenta los impactos que se tendrán en el ambiente, ya sea, a corto o largo plazo, en consecuencia, al considerar en el diseño lo último mencionado, se estaría en presencia de un diseño

sostenible, en donde, los efectos que se tengan sobre el entorno natural, en algunas ocasiones pueden no manifestarse durante décadas.

Cada día el uso de las fuentes de energía renovables toman fuerza y relevancia, ya que, se obtienen de fuentes naturales inagotables como lo son: el aire, el sol, entre otras; donde es importante hacer destacar que la energía sustentable ya es más económica que la producida con combustibles fósiles.

Al hablar de energía solar, se aprovecha la radiación solar; con el fin de generar energía eléctrica o térmica, mediante el uso de diferentes elementos tecnológicos, siendo así utilizada para diversos procesos; por lo que, uno de los inventos tecnológicos usados con el propósito de utilizar la radiación solar, serán los paneles solares. Uno de los beneficios del uso de los paneles solares, sería el hecho de que por medio de ella, se puede llevar el acceso a la energía eléctrica a las comunidades, donde la red de distribución eléctrica no está presente.

A nivel de la ingeniería, conocer sobre la cantidad de insolación en ubicaciones geográficas específicas es útil para la aplicación en la ingeniería civil y el planeamiento urbano, ya que esta puede ser una entrada importante para los modelos de adecuación que se utilizan para determinar los sitios óptimos.

Actualmente, no se cuenta con el material suficiente que pueda ser usado a nivel académico, por lo cual el estudiante universitario debe poder contar con fuentes de información suficientes y calificadas, que le permitan conocer en detalle al igual que con claridad, sobre estos temas expuestos, siendo así se podrá lograr el entendimiento de dichos fenómenos y las posibles variables que en ellos intervienen, por lo que se busca obtener con todo esto, una mejor capacidad de aprendizaje en relación a la temática, en la cual se debe destacar que estos están enfocados, siempre hacia la sustentabilidad.

## **1.2. Formulación del problema:**

¿Cómo se puede mejorar la comprensión de la relación entre las variables meteorológicas y los procesos hidrológicos dirigida a los estudiantes de Ingeniería Civil, mediante el uso de herramientas digitales, en el marco de la sustentabilidad?

### **1.3. Objetivos de la investigación:**

#### **1.3.1. Objetivo general:**

Elaborar una guía técnica de Hidrología para estudiar las variables meteorológicas y su relación con los procesos hidrológicos dirigida a los estudiantes de Ingeniería Civil, mediante el uso de herramientas digitales en el marco de la sustentabilidad ambiental.

#### **1.3.2. Objetivos específicos:**

1. Describir las variables que afectan los fenómenos de radiación, insolación, temperatura del aire, presión atmosférica al igual que vientos.
2. Estudiar diferentes métodos de cálculo de uso actualizado y ejercicios relacionados, bajo el marco de la sustentabilidad ambiental, utilizando herramientas virtuales.
3. Ensamblar la guía técnica de Hidrología, con el tema de estudio de las variables meteorológicas bajo el marco de la sustentabilidad.

### **1.4. Justificación del problema:**

Ya que el contenido que abarca la Hidrología es extenso, este trabajo de grado tendrá como fin, explicar de una manera detallada y clara cómo se comportan estas variables meteorológicas para luego poder generar, ejercicios prácticos enfocados a casos reales, que sean desarrollados con el apoyo de herramientas digitales, para lograr un entendimiento satisfactorio en el estudiantado, del uso de la teoría para poder ser aplicada y enfocada a obras de la ingeniería civil en el marco de la sustentabilidad ambiental.

Se debe destacar que, este trabajo de grado será en un aporte netamente académico, para la Universidad José Antonio Páez, brindando herramientas importantes para toda aquella persona que se encuentre con el estudio de la Hidrología, todo esto orientado a la carrera de Ingeniería Civil, siendo de gran ayuda y una posible contribución a otras universidades, así mismo crear un aprendizaje complementario, donde se hace presente la gestión ambiental y el uso de herramientas digitales, que facilitarán el desarrollo práctico de los mismos; donde hoy en día, es de

gran importancia para el profesional, tener en cuenta soluciones al diseñar, en donde además de la seguridad, funcionalidad, economía, se debe de tener presente y con igual importancia, la sustentabilidad ambiental.

### **1.5. Alcance y limitación:**

En definitiva para la ejecución de esta propuesta de proyecto, se dará el desarrollo de una guía técnica, que sea material de apoyo para los estudiantes a la hora de cursar hidrología del pensum de Ingeniería Civil de la Universidad José Antonio Páez.

Se busca recopilar y realizar un determinado análisis en el material que contenga de una manera técnica, ejercicios prácticos y propuestos, donde se haga uso de herramientas digitales que manejen y procesen data real, del comportamiento que puedan tener las variables meteorológicas tales como la radiación, insolación, temperatura del aire, presión atmosférica y vientos, generando información de interés procesado, para el estudio de obras civiles en general.

Siendo así, el factor tiempo que se tendrá para la elaboración del proyecto, el déficit que se haya presente en la recopilación de datos necesarios para desarrollar la temática, al igual que el agente económico, las limitaciones que se presentarán en la ejecución del proyecto.

Es necesario indicar una de las limitaciones existentes de la guía técnica es que la información suministrada es para el uso de edificaciones, al igual que los software indicados, es por ello que para realizar un estudio en el área perteneciente de la hidráulica, es necesario investigar cómo pueden influir las variables meteorológicas como lo son la radiación, insolación, temperatura del aire, presión atmosférica y vientos en esta área de la ingeniería civil.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

En toda investigación es importante contar con un sustento teórico, dicho término según Hurtado (2007), alude a una “comprensión restringida del proceso del conocimiento, en el cual el investigador intenta encajar una realidad en un marco o perspectiva ya dada, de modo que el estudio puede acabar por confirmar paradigmas”.

Por su parte Sabino (2008), lo define como un “conjunto de planteamientos teóricos y de proporciones que sustentan una investigación, que sirve de referencia al tema de estudio, y que al estar ligadas entre sí, constituyen el ámbito teórico dentro del cual el investigador formula sus proporciones específicas, describe e interpreta los hechos que le interesan”.

#### **2.1. Antecedentes:**

Según Fidiás Arias (2004), “Los antecedentes reflejan los avances y el Estado actual del conocimiento en un área determinada y sirven de modelo o ejemplo para futuras investigaciones.”

Tomando en consideración lo mencionado anteriormente, se presentan a continuación los siguientes trabajos de grado:

Gomariz, F. (2016), en su trabajo de grado titulado “**Estimación de variables y parámetros hidrológicos y análisis de su influencia sobre la modelización hidrológica**”, Realizado en la Universidad de Murcia, España; tuvo como objetivo ensayar diversos procedimientos para generar capas espaciales de las variables de entrada y parámetros necesarios para ejecutar un modelo hidrológico. En concreto precipitación, temperatura, humedad relativa, evapotranspiración potencial y usos del suelo, en donde la temperatura, precipitación y humedad relativa se han Interpolado

utilizando métodos de regresión global (GLM), de interpolación local. Se debe indicar que, esta tesis de grado se tomará esta tesis como una de las referencias debido a que se analizan ciertas variables hidrológicas tocados en la ejecución del mismo, que de igual forma, se considerarán en la elaboración de la guía técnica, en este caso la temperatura como variable meteorológica.

Así mismo, Caso, S. y Abou-Said, W. (2008), en su trabajo especial de grado titulado **“Evaluación de programas actuales de uso de energía solar en construcciones civiles en Venezuela”**, realizado en la Universidad Católica Andrés Bello, Venezuela; tiene como objetivo recopilar información sobre programas actuales del uso de Energía alterna Solar en Venezuela, y proceder a su evaluación a fin de desarrollar una guía de aplicaciones en las diferentes y más usuales obras civiles en el país. Es así como, este trabajo especial de grado se relaciona con la presente investigación, puesto que, indagan sobre programas de aplicación de energía solar y elaboran una guía con fines prácticos, tal y como se empleará en esta investigación, se recopilara y luego se elaborara una guía con fines prácticos sobre las variables meteorológicas.

Por último, Vela, C. (2018), en su trabajo de grado titulado **“Guía técnica para el estudio y cálculo hidrológico de la escorrentía”**, realizado en la Universidad José Antonio Páez, Venezuela; tuvo como objetivo la elaboración de una guía técnica que permite conocer el fenómeno de la escorrentía, el cual forma parte del ciclo hidrológico, analizar sus causas, posibles afectaciones tanto al medio ambiente como a las obras civiles, y determinar por medio de fórmulas y análisis matemáticos su intensidad, duración y afectación. Este instrumento de apoyo al aprendizaje en la escuela de Ingeniería Civil, para los estudiantes universitarios sirve para que estos profundicen sus conocimientos en la materia hidrología, además, se ubicará en un nivel documental y práctica que permite la solución de la falta de material de estudio

aplicado a la especialidad. Viendo todo lo anterior expuesto, el aporte del trabajo de grado a la presente investigación se tomará como referencia debido a que la elaboración de esta guía técnica para el estudio y cálculo hidrológico de la escorrentía y demás anteriores a esa, realizadas en la Universidad José Antonio Páez, están enfocadas a la Hidrología para los estudiantes de Ingeniería Civil, así como también, el estudio de las variables meteorológicas tiene relación con los procesos hidrológicos.

## **2.2. Bases teóricas:**

En esta sección, que va dirigido a explicar el fenómeno o problema planteado, por lo que se tendrá los aspectos conceptuales o teóricos que se ubicarán en el problema de investigación, que están directamente relacionados con las variables del trabajo de grado; se debe de considerar igualmente, los diversos niveles educativos, que pueden presentar los lectores del presente trabajo de investigación, por lo que se mostrará una serie de términos, fórmulas y tablas presentadas siempre de manera didáctica, con el fin de un fácil entendimiento.

Según Arias (2006), las bases teóricas están formadas por: “un conjunto de conceptos y proposiciones que constituyen un punto de vista o enfoque determinado, dirigido a explicar el fenómeno o problema planteado” (p.39). Es evidente entonces, la revisión necesaria de teorías, paradigmas y estudios vinculados al tema, para posteriormente, construir una posición frente a la problemática que se pretende abordar. A continuación se presentan las bases teóricas que sustentan la presente investigación, estructuradas de la siguiente manera: insolación, presión atmosférica, radiación, temperatura del aire, vientos.

### **2.2.1. Insolación:**

Según la organización mundial de meteorología (OMM), define la insolación como la suma de intervalos de tiempo durante los cuales la radiación solar directa (normal al sol) supera el umbral de 120 W/m<sup>2</sup>. Otra definición basada en la medida

de la radiación solar global delimita la Insolación como la suma de intervalos de tiempo durante los cuales la radiación solar global es 0,4 veces mayor que la radiación solar potencial en el exterior de la atmósfera terrestre, medidas ambas en el plano horizontal.

La insolación se mide en horas, se puede estimar en base a medidas de radiación solar global con piranómetros, de los que sí están dotadas la mayoría de las estaciones meteorológicas automáticas. En este caso no podemos utilizar la definición de la OMM, porque los piranómetros están instalados en plano horizontal y no siguen la trayectoria solar.

#### Y **Cálculo de la Radiación Solar Potencial:**

La radiación solar potencial en la parte externa de la atmósfera terrestre para una superficie perpendicular a los rayos del sol está perfectamente definida y se conoce como constante solar. Aunque fluctúa algo durante el año, puede considerarse que su valor medio es de  $1373 \text{ W/m}^2$ .

La radiación solar potencial ( $S_0$ ) en un punto del planeta y en un momento determinado se calcula del modo siguiente:

$$S_0 = 1373 * \text{sen } \Phi$$

**Siendo:**

$1373 \text{ W/m}^2$  = la constante solar.

$t_0$  = hora del mediodía del sol del lugar

ecuatorial de la tierra y la línea imaginaria que une los centros del sol y de la tierra.

Por el método de Cooper:

$$\delta = -23,45 * \cos \{360/365 * (j + 10)\}$$

**Siendo:**

= declinación solar

-23,45 = ángulo de inclinación del eje polar con respecto a la normal al plano elíptico (generado en modo imaginario por la tierra en su giro anual alrededor del sol).

J = día juliano.

J+10 = la ecuación es referenciada al 21 de diciembre o perihelio.

La hora del mediodía del sol del lugar ( $t_0$ ) es igual a:

$$t_0 = 12 - l_c - E_t$$

**Siendo:**

$t_0$  = hora del mediodía del sol del lugar.

$l_c$  = el corrector de la longitud del lugar.

$E_t$  = la ecuación del tiempo (en horas).

$$l_c = \frac{(l_s - l)}{15}$$

$$15 = \frac{360}{24}$$

**Siendo:**

$l_s$  = la longitud del meridiano estándar del lugar (en el caso de Navarra igual a 0 por el meridiano de Greenwich)

$l$  = la longitud del lugar.

**Ecuación del tiempo:** Es la diferencia entre el tiempo solar medio, la cual es medido por un reloj y el tiempo solar aparente, medido con un reloj de sol. Su formulación es igual a:

$$E_t = \frac{\{-7,655 * \text{sen}(2 * \pi * j / 365,242) + 9,873 * \text{sen}(2 * (2 * \pi * j / 365,242) + 3,588)\}}{60}$$

(Los ángulos en este caso están en Radianes).

**Siendo:**

$E_t$  = la ecuación del tiempo (en horas).

J = día juliano.

Por otra parte, los mapas de insolación son importantes para prever el comportamiento de los incendios forestales y para tomar decisiones con respecto a los mejores métodos de extinción de incendios. Para la ingeniería civil y el planeamiento urbano, la insolación puede ser una entrada importante para los modelos de adecuación que se utilizan para determinar los sitios óptimos.

Por ejemplo, si se desea saber que ubicación tendrá la cantidad máxima de exposición solar durante la estación de crecimiento (de abril a octubre) en un viñedo, se selecciona un sitio potencial

**2.2.2. Presión atmosférica:**

La Presión atmosférica, es la presión que ejerce el aire sobre el planeta Tierra, está a su vez varía según los cambios meteorológicos, también puede variar según la altitud a la que nos encontramos, reduciéndose 1 Torr por cada 10 metros de altura sobre el nivel del mar aproximadamente.

La Presión atmosférica, se mide en atmósferas, milibares o mm Hg (milímetros de mercurio). Normalmente se toma como referencia la presión atmosférica que existe a nivel del mar. Allí toma un valor de 1 atmósfera, 1013 milibares o 760 mm Hg y un litro de aire pesa 1,293 gramos.

### 2.2.2.1. Aparatos de medición:

#### Y Barómetro de Torricelli:

El instrumento más usado para medir la presión atmosférica suele ser el barómetro, el barómetro de mercurio, inventado por Torricelli, es simplemente un tubo en forma de U con una rama cerrada en la que se ha hecho el vacío, de manera que la presión en la parte más elevada de la rama sea nula. El valor medio de la presión de la atmósfera terrestre es de 1013.25 hectopascales o milibares a nivel del mar, la cual está medida a una latitud de 45°. (Ver figura 1).

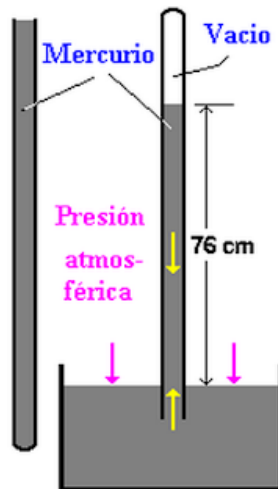


Figura 1. Barómetro de Torricelli.

Fuente: (2016). <https://www.altocumulo.com/que-es-un-barometro-y-como-funciona/>

Por otra parte, fue Torricelli, un físico italiano el primero que se le ocurrió realizar un experimento práctico para así evaluar el comportamiento de la presión atmosférica, este experimento se basó en llenar completamente un tubo, de aproximadamente un metro de longitud, con mercurio, luego tapándolo con el dedo dio la vuelta y lo introdujo en un recipiente con Mercurio, finalmente soltó el dedo y notó que el nivel del mercurio dentro del tubo descendía hasta llegar a 760mm respecto al nivel del mercurio dentro de la cubeta.

Esto quiere decir que, cuanto más alto sea la superficie terrestre, menor será la presión atmosférica. Esto se da ya que la presión atmosférica se debe al peso del aire sobre cierto punto y entre más alto este el punto, es menor la cantidad de aire que hay sobre él.

Para obtener el valor de la presión atmosférica, es necesario conocer el valor de la presión hidrostática del mercurio, de esta manera la ecuación sería la siguiente:

$$P = h * \gamma$$

Dónde:

P = presión atmosférica.

H = es la columna de mercurio con un valor de 760mmHg.

Y = peso específico del mercurio.

Sustituyendo los valores, tendremos que el valor de la presión atmosférica sería:

$$P = 0,760 \text{m} \times 13,60 \text{ ton/m}^3.$$

$$P = 10,33 \text{ ton/m}^2.$$

Esto quiere decir que 10,33 ton/m<sup>2</sup> equivalen a una columna de agua de 10,33 metros. Este valor es obtenido en condiciones normales, donde este se encuentra a nivel del mar y a 0° Celsius.

La presión atmosférica es de suma importancia a nivel meteorólogo, ya que con esta se puede saber si estamos bajo la influencia de altas presiones cuando esta está por encima de los 1012 milibares o de bajas presiones cuando la presión está por debajo de dicho valor. Así, por ejemplo, una bajada progresiva de la presión nos puede indicar que se acerca mal tiempo, mientras que los ascensos de presión suelen ir acompañados de buen tiempo.

### **2.2.3. Radiación solar:**

Al hablar de esta variable meteorológica, se tiene que por medio de ella, se conoce la cantidad de “calor” que recibiremos del sol en la superficie terrestre, en la

cual, actualmente se ve afectada por el cambio climático y la retención de gases de efecto invernadero.

### **2.2.3.1. Aparatos de medición:**

#### **Y Piranómetro:**

Se debe indicar que para medir la radiación solar que recibimos en un punto, utilizamos un aparato llamado piranómetro, la cual consiste en un sensor encerrado en un hemisferio transparente que transmite toda la radiación de longitud de onda, que sea muy pequeña. (Ver figura 2).



Figura 2. Piranómetro de Radiación Solar Global de clase 1.

Fuente: (2018)<https://www.alphaomega-electronics.com/es/2443-srg1-piranometro-de-radiacion-solar-global-de-clase-1.html>

#### **Y Heliógrafo:**

También se debe indicar, que se puede obtener una estimación de la cantidad de radiación solar que recibimos, mediante la medición del número de horas de sol que tenemos. Para ello, usamos un instrumento que se llama heliógrafo. Éste está formado por una esfera de vidrio orientada hacia el sur geográfico, que actúa como una gran lupa, concentrando toda la radiación recibida en un punto incandescente, la cual, quema una cinta de un papel especial graduada conforme pasen las horas del día. (Ver figura 3).



Figura 3. Heliógrafo de Campbell-Stokes.

Fuente: Baylina, R y Martinez, F. <http://www.rumtor.com/heliografo.html>

En nuestro sistema tierra - atmósfera se producen una serie de procesos en los que se absorbe, emite y refleja energía, de manera que el balance final que existe entre la radiación que llega al extremo de la atmósfera que procede del Sol y la que sale al espacio exterior, es cero, por lo que la temperatura anual promedio se mantiene constante. La mayoría de la radiación solar que entra en la Tierra, lo absorbe la superficie terrestre y muy poca parte de la radiación incidente, por las nubes y el aire. El resto de la radiación es reflejada por la superficie o los gases y las nubes la cual la regresan al espacio exterior. Es importante hacer énfasis que la radiación solar no llega igual a cada rincón de la tierra, de hecho, los rayos son mayormente absorbidos en toda la zona del ecuador, mientras que en los polos son mucho más débiles, influyendo directamente en el clima del lugar.

#### **2.2.3.1. Tipos de radiación:**

De acuerdo a cómo reciben la radiación solar los objetos situados en la superficie terrestre, se pueden distinguir estos tipos de radiación:

Y **Radiación directa:** Es aquella que llega directamente del Sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.

ÿ **Radiación difusa:** Es aquella parte de la radiación que atraviesa la atmósfera la cual es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación, que se denomina difusa, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, entre otros.

ÿ **Radiación reflejada:** Como su nombre lo indica, es aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben.

ÿ **Radiación global:** Es la radiación total, por lo que ella será la suma de las tres radiaciones. Además, hay que indicar que en un día despejado, con Cielo limpio, la radiación directa es preponderante sobre la radiación difusa. Por el contrario, en un día nublado no existe radiación directa y la totalidad de la radiación que incide es difusa.

Por otra parte, la mayoría de las fuentes de energía usadas por el hombre, derivan indirectamente del Sol, ya que este puede a través de toda su radiación ser aprovechada al ser transformada como energía para los humanos. Los combustibles fósiles preservan energía solar capturada hace millones de años, la energía hidroeléctrica usa la energía potencial del agua que se condensó en altura, después de haberse evaporado por el calor del Sol.

### **2.2.3.2. Importancia de la radiación en la ingeniería civil:**

Según el ingeniero civil Oscar Javier Reyes Ortiz y Javier Fernando Camacho Tauta, de la Universidad de Los Andes, en Colombia, cuyo trabajo de grado fue el estudio del efecto de la radiación ultravioleta en las propiedades mecánicas y dinámicas de una mezcla asfáltica, donde, es necesario destacar que el objetivo de esta investigación fue el de determinar los efectos de la radiación ultravioleta en las

propiedades mecánicas y dinámicas de una mezcla asfáltica. El estudio partió de la caracterización de los materiales y la determinación del porcentaje óptimo de asfalto. Se fabricaron muestras de módulo dinámico, de ahuellamiento y de ley de fatiga, las cuales fueron sometidas a cuatro periodos de radiación ultravioleta en una cámara con condiciones ambientales controladas, donde los resultados obtenidos se determinó que a mayor periodo de exposición de radiación ultravioleta la vida en ciclos de la mezcla se ve disminuida, los módulos dinámicos aumentan entre 90 y 132 % y la deformación permanente aminora un 57 %, convirtiéndose así en una estructura más frágil.

Sin embargo, como este ejemplo citado anteriormente, hay muchos más, debido a que existen actualmente, tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar térmica, por lo que tenemos el uso y aprovechamiento de la misma como en el secado de cosechas, potabilización de agua, fabricación de materiales, agua caliente para la industria, aplicaciones para el uso de la industria del cemento, entre otros.

### **2.2.3.3. Energía solar:**

La energía solar es la producida por la luz (energía fotovoltaica) o el calor del sol (termosolar) para la generación de electricidad. Esta energía es inagotable y renovable, pues procede del sol.

Se debe dejar reflejado que, esta energía es una de las funciones motoras para la vida tal y como la conocemos, ya que promueve los más variados efectos sobre la superficie del planeta como lo son los vientos, la formación de nubes y lluvia o los cambios climáticos alrededor del globo.

El hombre ha querido buscar y construir las más diversas maneras de aprovechar esta energía y convertirlas en el soporte de la vida en la tierra y es por ello que en estos momentos está siendo fuertemente optimizada la tecnología para extraer esta energía proveniente del sol y convertirla en energía de uso humano, como con el uso de los paneles solares.

En consecuencia a lo anterior mencionado, para transformar la energía del sol, en energía, se necesita de una célula fotoeléctrica que convierten la luz del sol directamente en electricidad, por el llamado efecto fotoeléctrico, en donde determinados materiales son capaces de absorber fotones y liberar electrones, generando una corriente eléctrica. Por otro lado, los colectores solares térmicos usan paneles o espejos para absorber y concentrar el calor solar, transferirlo a un fluido y conducirlo por tuberías para su aprovechamiento en edificios e instalaciones o también para la producción de electricidad. (Ver figura 4).

Es necesario mencionar que la energía solar goza de numerosos beneficios que la sitúan como una de las más prometedoras. Renovable, no contaminante y disponible en todo el planeta, contribuye al desarrollo sostenible y a la generación de empleo en las zonas en que se implanta.

Igualmente, la simplicidad de esta tecnología la convierte en idónea para su uso en puntos aislados de red, zonas rurales o de difícil acceso. La energía solar también es útil para generar electricidad a gran escala, en especial en zonas geográficas cuya meteorología proporcione abundantes horas de sol al año.

Con la implementación de paneles solares en su totalidad se terminaría el problema del almacenamiento de residuos, recordando que los combustibles fósiles tardan años en desaparecer y contaminan el aire, la tierra y el agua.

Se tiene también que los módulos de captación solar requieren de un mantenimiento relativamente sencillo lo que, unido a la progresiva y acelerada disminución del coste de las células fotovoltaicas, explican las favorables perspectivas existentes actualmente para la tecnología solar.

Otro aspecto beneficioso de la energía que nace del sol, es que su implantación en un país disminuye la dependencia energética de otros países. El rápido avance experimentado por las tecnologías de almacenamiento eléctrico va a minimizar cada

vez más esta circunstancia e incrementar la participación de este tipo de energías en el sistema energético.

Es cierto que los paneles solares suponen un importante impacto sobre el paisaje, de ahí que se suelen ubicar en zonas prácticamente desiertas, también por razones de rendimiento obvias. (Ver Figura 4).

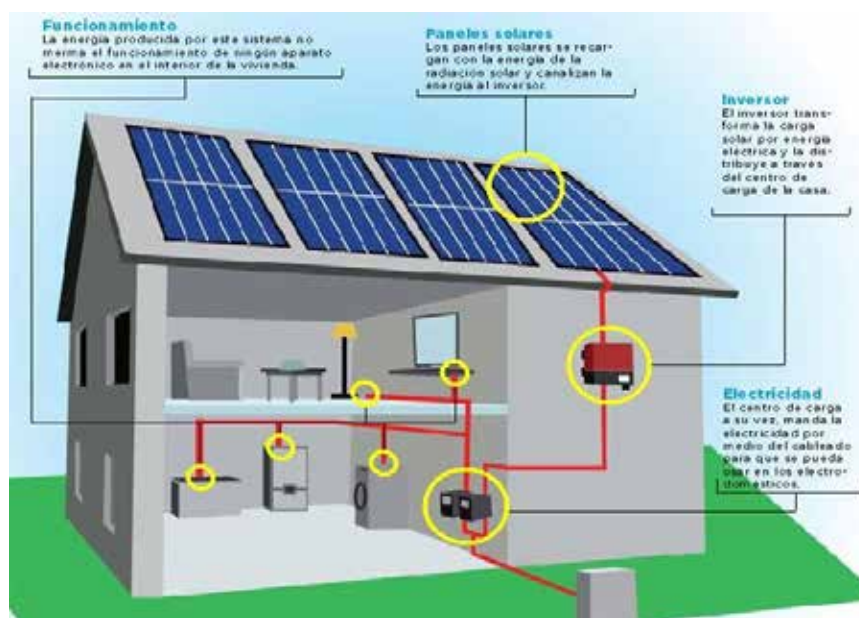


Figura 4. Esquema del funcionamiento de paneles solares, en una vivienda.

Fuente: Meza, E. (2015) <https://www.debate.com.mx/culiacan/Energias-renobables-una-opcion-rentable-20150207-0101-html>

#### 2.2.4. Temperatura del aire:

La temperatura es un índice indicativo del calentamiento o enfriamiento del aire que resulta del intercambio de calor entre la atmósfera y la tierra. La temperatura indica en valores numéricos el nivel de energía interna que se encuentra en un lugar en ese momento.

La temperatura del aire, que se mide con el termómetro de mercurio o el termógrafo, sufre variaciones dependiendo de diversos factores, entre los que podemos destacar los siguientes:

ÿ **Variación diurna:** se define como el cambio de temperatura entre el día y la noche, producido por la rotación de la Tierra. Durante el día la radiación solar es, en general, mayor que la terrestre, por lo tanto la superficie de la Tierra se torna más caliente. Durante la noche, en ausencia de la radiación solar, sólo actúa la radiación terrestre, y consecuentemente, la superficie se enfría. Dicho enfriamiento continúa hasta la salida del sol; por lo que, la temperatura mínima ocurre generalmente poco antes de la salida del sol.

ÿ **Variación estacional:** esta variación se debe a la inclinación del eje terrestre y el movimiento de traslación de la Tierra alrededor del sol. El ángulo de incidencia de los rayos solares varía, estacionalmente, en forma diferente para los dos hemisferios. El hemisferio norte es más cálido en los meses de junio, julio y agosto, en tanto que el hemisferio sur recibe más energía solar en diciembre, enero y febrero.

ÿ **Variación con la latitud:** la mayor inclinación de los rayos solares en altas latitudes, hace que éstos entreguen menor energía solar sobre estas regiones, siendo mínima dicha entrega en los polos. Sin embargo, en el Ecuador los rayos solares llegan perpendiculares, siendo allí máxima la entrega energética.

ÿ **Variaciones con el tipo de superficie:** en primer lugar la distribución de continentes y océanos produce un efecto muy importante en la variación de la temperatura, debido a sus diferentes capacidades de absorción y emisión de la radiación. Las grandes masas de agua tienden a minimizar los cambios de temperatura, mientras que los continentes permiten variaciones considerables en la misma. Sobre los continentes existen diferentes tipos de suelo: Los terrenos pantanosos, húmedos y las áreas con vegetación espesa tienden a atenuar los cambios de temperatura, en tanto que las regiones desérticas o áridas permiten cambios grandes en la misma.

ÿ **Variaciones con la altura:** a través de la primera parte de la atmósfera, llamada troposfera, la temperatura decrece con la altura. Este decrecimiento se define como

Gradiente vertical de Temperatura y es en promedio de  $6,5^{\circ}\text{C}/1000\text{m}$ . Sin embargo, ocurre a menudo que se registra un aumento de la temperatura con la altura: Inversión de temperatura. Durante la noche la Tierra irradia (pierde calor) y se enfría mucho más rápido que el aire que la circunda; entonces, el aire en contacto con ella será más frío mientras que por encima la temperatura será mayor. Otras veces se debe al ingreso de aire caliente en algunas capas determinadas debido a la presencia de alguna zona frontal. (Ver Figura 5).



Figura 5. Termómetro de Mercurio

Fuente: (2013) <http://www.meteolobios.es/temp.htm>

### **2.2.5. El viento:**

El viento es el desplazamiento horizontal de las masas de aire, a lo largo de la superficie terrestre. La dirección, depende directamente de la distribución de las presiones, ya que tiende a soplar desde la región de altas presiones hacia la de presiones más bajas. Se produce por la energía solar, la cual, ocasiona el calentamiento desigual de la tierra, dando lugar a zonas de altas y de bajas presiones. Este desequilibrio provoca el desplazamiento del aire dando lugar al viento.

De igual manera es importante mencionar que, cuando en una región la presión atmosférica es mayor que en otra, el aire se desplaza de la región de altas presiones de

nominada como zonas anticiclónicas, hacia las regiones de bajas presiones, llamada zona ciclónica, donde el viento es más fuerte a mayor diferencia de presión.

### **2.2.5.1. Aparatos de medición:**

#### **ÿ Veletas:**

Las veletas, por lo tanto, son dispositivos que presentan un señalador para revelar la dirección del viento. Este señalador, por lo general, está vinculado a una cruz que muestra los puntos cardinales. Gracias a su mecanismo, las distintas piezas de la veleta giran al recibir la acción del viento, evidenciando su dirección.

Para que puedan cumplir con su función, las veletas deben instalarse lo más alto posible. De esta manera, se evita que los árboles y las edificaciones alteren la dirección real del viento. Por eso las veletas suelen aparecer en los techos de las casas o en las terrazas de los edificios. (Ver Figura 6)



Figura 6. Ao-KWD Veleta de precisión.

Fuente: (2018) <https://www.alphaomega-electronics.com/es/sensores-y-sondas/834-ao-kwd-veleta-de-precision.html>

#### **ÿ Anemómetro:**

Es un aparato meteorológico utilizado para medir la velocidad del viento y así ayudar en la predicción del clima. Se usan principalmente los anemómetros de cazoletas o de molinete, especie de diminuto molino de tres aspas con cazoletas sobre las cuales actúa la fuerza del viento; el número de vueltas puede ser leído directamente en un contador o registrado sobre un anemograma, en cuyo caso el aparato se denomina anemógrafo. Aunque también los hay de tipo electrónicos.

Para medir los cambios repentinos de la velocidad del viento, especialmente en las turbulencias, se recurre al anemómetro de filamento caliente, donde la acción del viento lo enfría y hace variar así su resistencia; por consiguiente, la corriente que atraviesa el hilo es proporcional a la velocidad del viento. (Ver figura 7).



Figura 7. Anemómetro de molinete.

Fuente: (2017) <https://es.wikipedia.org/wiki/Anem%C3%B3metro>

#### **2.2.5.2. Importancia de la radiación en la ingeniería civil:**

Una de las cargas a considerar en el cálculo de una estructura es el viento. A la hora de considerarla, se debe de seguir las normativas vigentes, contando con el dato de la velocidad de referencia del viento. Esta velocidad se suele transformar, mediante diferentes parámetros, en una presión del viento sobre la estructura. Sin embargo, algunas veces, la importancia del viento no estriba en su fuerza, si no en los fenómenos dinámicos que puedan ocasionar en la estructura.

Considerando lo anterior, cuando un cuerpo elástico está inmerso en el seno de una corriente fluida, actúan sobre él tres tipo de fuerzas:

• **La fuerza elástica:** que depende de la deformación del cuerpo.

• **La fuerza aerodinámica:** producidas por la acción del fluido sobre el cuerpo.

ÿ **Las fuerzas de inercia:** debido a la aceleración del movimiento de la estructura.

Dependiendo de la importancia relativa de una frente a las otras, surgen los diversos tipos de inestabilidades de las se citan sólo tres:

ÿ **Galope:**

El galope es una inestabilidad típica de las estructuras esbeltas que se puede presentar en estructuras con secciones transversales no circulares, en general de formas arbitrarias, como las que adoptan los cables de tendidos eléctricos cuando está cubiertos de hielo.

ÿ **Flameo:**

Bajo el nombre de Flameo se agrupan diversas inestabilidades, muchas son mas de aeronáutica que de ingeniería civil. Puede aparecer en estructuras que tengan frecuencias propias semejantes en los modos de oscilación a traslación y a torsión. Este fenómeno es típico de estudio detallado en puentes colgantes. Es el causante del derrumbe del Puente de Tacoma Narrows.

ÿ **Bataneo:**

Es aquella vibración, que se produce por las turbulencias o perturbaciones no producidas por el obstáculo que las sufre, si no por otro cuerpo cercano.

Un ejemplo típico de bataneo de estela se produce entre rascacielos, próximos en áreas urbanas, cuando la dirección del viento es tal que un edificio queda en la estela del otro.

Por lo general, el cálculo de estas interacciones dinámicas viento-estructura suele ser muy complicadas de predecir, aún con los más modernos programas de ordenador. Por tanto, cuando la estructura tiene especial importancia, se suele recurrir a ensayos a escala en túneles de viento.

### **2.2.5.3. Capa límite:**

La capa límite en la baja atmósfera aloja la inmensa mayoría de las actividades del ser humano, por ser la más próxima a la superficie terrestre. Cuando el viento

actúa sobre los accidentes topográficos, la vegetación, la edificación, entre otros, se generan velocidades de perturbación que en determinadas circunstancias, se amplifican induciendo el colapso de la estructura primitiva de capas en la atmósfera. El resultado de este proceso es una forma aparentemente desordenada de movimiento en donde se generan valores instantáneos de dirección, velocidad, presión, temperatura, densidad, aire y es analizado tradicionalmente mediante el uso de herramientas estadísticas. La turbulencia es el fenómeno característico esencial de la capa límite atmosférica y por ello se realizan los ensayos en túneles de cualquier fenómeno eólico.

Simular la capa límite atmosférica en un túnel de viento consiste en desarrollar un modelo físico del flujo turbulento atmosférico, de manera tal que los parámetros que lo caracterizan se reproduzcan lo más fielmente posible dentro del túnel. La simulación constituye una herramienta en la resolución de diversos problemas en la ingeniería, como los son: la determinación de la acción del viento sobre estructuras, análisis de la dispersión atmosférica, estudios de confort, entre otros. En resumen se tiene que esta técnica permite representar las condiciones que se darían en la realidad, empleando modelos a escala reducida, esto implica lograr una reproducción apropiada de la distribución de la velocidad media en función de la altura y de ciertos parámetros turbulentos.

Sin embargo se debe indicar que la separación de la capa límite, da origen a la formación de una región de relativamente baja presión detrás de un cuerpo. Esta región recibe el nombre de estela. Por consiguiente, para flujo separado sobre un cuerpo, hay un desbalance neto de fuerzas de presión en la dirección del flujo, lo que produce una fuerza de arrastre sobre el cuerpo. Cuanto mayor es el tamaño de la estela detrás del cuerpo, mayor resulta la fuerza de arrastre. Para reducir el tamaño de la estela y así disminuir la fuerza de arrastre es necesario darle al cuerpo una forma

aerodinámica, a objeto de reducir el gradiente de presión adverso que origina la separación de la capa límite y la formación de la estela. (Ver figura 8).

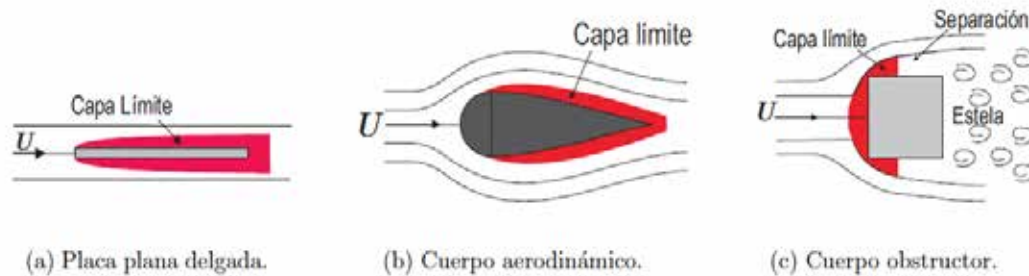


Figura 8. Flujo alrededor de diferentes cuerpos.

Fuente: Gherardelli, C. [Fkimerius.com/app/download/5784202870/Capa+l%C3%ADmite.pdf](http://Fkimerius.com/app/download/5784202870/Capa+l%C3%ADmite.pdf)

Analizando los anteriores ejemplos expuestos en la Figura 2.1, se puede apreciar la influencia existente sobre el flujo, para el caso de la placa plana delgada paralela al flujo es mínima y las líneas de corriente tenderán a ser paralelas a la placa. Alrededor de un cuerpo aerodinámico el flujo que se establece es tal que las líneas de corriente se cierran detrás del cuerpo. Alrededor de un cuerpo obstructor por el contrario, las líneas de corriente no son capaces de cerrarse detrás del cuerpo generando detrás de este lo que se conoce como estela.

A modo de ejemplo, tenemos que en la Universidad de La Coruña, en España, se efectuó un estudio de la excitación por vórtices que genera el viento en un tablero de puente con cajones gemelos, se obtuvo como resultado que la separación de la capa límite alrededor del cuerpo inmerso en el flujo de aire es la clave para explicar su comportamiento. Cuando el cuerpo tiene formas con gran curvatura, el punto de separación de la capa límite depende del número de Reynolds. Anexado a lo anterior se tiene que en ingeniería civil las estructuras suelen tener formas angulosas que provocan que el punto de separación siempre sea más o menos fijo, sin cambiar demasiado respecto al número de Reynolds. Sin embargo, muchos tableros de puentes tienen contornos curvos con un comportamiento cambiante en función de la

velocidad del viento. Se pudo ver que el número de Strouhal es otro parámetro importante en la excitación por vórtices, ya que es la frecuencia adimensionalizada con la que se forman los vórtices alternativos en la estela del cuerpo. Relacionando este valor con las frecuencias naturales de vibración de la estructura, es posible determinar si se producirán vibraciones peligrosas; se tiene de igual forma que en la zona que se produce acoplamiento entre la frecuencia de los vórtices y la vibración de la estructura aparecen oscilaciones de mayor amplitud y al aumentar la velocidad de viento, no aumenta la frecuencia de los vórtices por lo que se llama zona encerrada o lock-in.

#### **2.2.5.4. Energía eólica:**

Es aquella forma de energía renovable que se obtiene al hacer uso de la fuerza proveniente del viento, la cual en pocas palabras, será la capacidad de transformar esta fuerza en electricidad.

Para explotar esta energía se hace uso de los equipos denominados como autogeneradores, la cual, están compuestos por una turbina eólica situada en la parte superior de una torre de soporte y también cuentan con un generador eléctrico. (Ver figura 9).

Es importante hacer mención que las palas del viento, la cual harán su movimiento giratorio gracias a la acción del mismo, transforman la energía cinética producida por el viento en energía mecánica, luego del generador mencionado, la cual, está conectado a las palas, transforma la energía mecánica producida por la rotación de las palas, en energía eléctrica. Este utiliza algunos imanes y propiedades de inducción electromagnética para producir un voltaje eléctrico, es decir, una diferencia en la carga eléctrica y por lo tanto, energía eléctrica. Se debe destacar que debido a la desaceleración que sufre el viento a través del aerogenerador, solo el 59% de la energía cinética, se puede convertir en energía mecánica.

Con todo lo mencionado anteriormente, tenemos que la energía eólica es sin duda alguna, una fuente válida de energía renovable con un bajo impacto ambiental, donde la producción de electricidad es a partir de combustibles fósiles. Es una fuente abundante e inagotable disponible en muchos lugares del mundo y que a diferencia de la energía fotovoltaica, un campo o parque eólico, ocupa un área más pequeña o de hecho necesita de menos terreno, para poder lograr acumular una energía considerable que transformar en energía eléctrica, además, es reversible, por lo que el área ocupada por el parque puede restaurarse fácilmente para renovar el territorio preexistente.

No produce gases tóxicos y las propias turbinas eólicas pueden tener un ciclo de vida largo. Los costos de ellas y su mantenimiento son relativamente bajos. Un costo por Kw producido, en áreas muy ventosas, es bastante bajo.

Sin embargo, también se pueden señalar algunas desventajas, como lo es que, las condiciones climáticas, son relativamente impredecibles, por lo que, no es posible estimar exactamente, un plan para devolver la inversión. Los grandes parques eólicos tienen un fuerte impacto paisajístico y son visibles desde largas distancias. La altura promedio de las turbinas de viento de las plantas grandes oscila entre 50 y 80 metros con cuchillas giratorias que se elevan verticalmente por otros 40 metros.

En general, el viento sopla más fuerte en las costas, en lugares montañosos y en las montañas, por lo que un parque eólico puede desfigurar un buen paisaje; pueden tener un impacto negativo en la avifauna local, especialmente entre las aves rapaces nocturnas ya que no son capaces de reconocer visualmente las cuchillas que se mueven tan rápido chocando con ellas fatalmente.

A nivel mundial, es el continente europeo el que produce la mayor parte de la energía eólica, llegando al 72%. Las iniciativas que han fomentado la instalación de aerogeneradores proceden de los gobiernos; por ejemplo en Alemania la ley obligaba

a las compañías eléctricas a pagar a los productores de renovables el 90% del precio abonado por el consumidor.

Hoy en día, uno de los objetivos, es el encontrar un modelo de aerogenerador eficaz, que tenga un menor impacto visual y que no cause daño a las aves. También, se está investigando para obtener esta energía a partir de aerogeneradores flotantes ubicados en el mar, que reducirían el impacto de los aerogeneradores convencionales.

#### Y **Procedencia la energía eólica:**

Toda la energía renovable, excluyendo la energía mareomotriz y geotérmica, e incluso la energía en combustibles fósiles, proviene del sol. Todo esto ya que el sol irradia aproximadamente 174.423.000.000.000 de kilovatios hora de energía a la tierra por hora y en donde, aproximadamente del 1 al 2 por ciento de la energía proveniente del sol se convierte en energía eólica. Eso es alrededor de 50 a 100 veces más que la energía convertida en biomasa, por todas las plantas en la tierra.

Hay que destacar que, el aire caliente es más ligero que el aire frío y este se eleva hacia el cielo hasta que alcance aproximadamente 10 km de altitud y se extiende hacia el norte y el sur.

Hay que tener en consideración que los molinos de viento desarrollan más de 100 kilovatios y la electricidad que resulta alimenta la red eléctrica, desde donde esta llega al usuario final a través del sistema de energía o los operadores de servicios eléctricos.

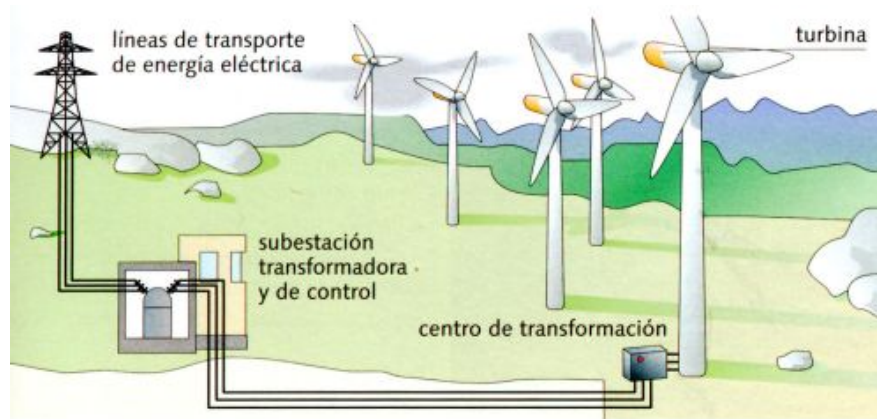


Figura 9. Esquema de funcionamiento de una central eólica.

Fuente: Estollo, S. (2010)<http://sandraestollo.blogspot.com/2010/06/centrales-eolicas.html>

### 2.2.6. Sostenibilidad ambiental:

En primera instancia tenemos que el desarrollo sustentable es un concepto que fue desarrollado a finales del siglo XX, en donde se hace énfasis en la reconciliación entre el bienestar económico, los recursos naturales y la sociedad, se busca evitar comprometer la vida en el planeta y la calidad de vida humana. En consecuencia, se ha generado conciencia, debido a la importancia que posee el crear condiciones de largo plazo, que hagan posible un bienestar para las actuales generaciones y futuras, evitando un mayor deterioro sus condiciones de vida. Con igual importancia, se debe indicar que varios textos de las Naciones Unidas, incluyendo el Documento Final de la cumbre mundial en el 2005, precisa tres componentes que conforman la definición del desarrollo sostenible como "pilares interdependientes que se refuerzan mutuamente".

En el mismo orden de ideas, uno de estos pilares fundamentales, es la sostenibilidad ambiental, la cual busca la preservación de la biodiversidad y los ecosistemas, impidiendo siempre la degradación sus funciones. Este incluye un análisis de los impactos derivados de la actividad humana, como el consumo de recursos difícil o lentamente renovables.

Si bien es cierto, en la Tierra se cuenta con recursos naturales limitados, como lo son los nutrientes que poseen los suelos, el agua potable, entre otros, que son susceptibles al agotamiento; otro factor es el hecho de la creciente actividad económica. El impacto negativo en el planeta puede producir graves problemas medioambientales que resulten incluso irreversibles.

Teniendo en consideración todo lo anterior planteado, se evidencia que actualmente, cada vez, se debe de trabajar más con la producción de energías limpias, en donde, se debe de hacer un uso eficiente de la energía solar, el viento, entre otros, las cuales nos llevan a analizar, evaluar y resolver problemas multidisciplinarios, relacionados con el uso sostenible de los recursos naturales, las diversas fuentes de energía y su impacto en la sociedad utilizando metodologías y herramientas tecnológicas de vanguardia, dando soluciones integrales considerando tecnologías y materiales sustentables, para lo cual se debe de comprender los fenómenos y mecanismos que intervienen en la generación y uso eficiente de la energía, al igual que su efecto sobre el medio ambiente y la sociedad.

### **2.3. Bases Legales:**

Las bases legales de esta investigación se encuentran representadas, en primer lugar, en la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (2009) donde en el capítulo IX establece los derechos ambientales en el país.

El artículo 127 establece, entre otras cosas, que el aire, el agua, los suelos, las costas, el clima, la capa de ozono, las especies vivas, son especialmente protegidos, en conformidad con la ley.

Otro de los fundamentos legales de la investigación, lo representa la Ley Orgánica del Ambiente, sustentándose en los artículos 56, 58, 59, 63 y 80 los cuales hacen mención al ciclo hidrológico, a la gestión integral y elementos de la atmosfera, prevención y control y las actividades capaces de degradar el ambiente.

Por último, la Ley de Meteorología e Hidrología Nacional es otro fundamento legal de la investigación, sustentándose en su artículo 3 donde hace mención de las declaratorias de interés general.

#### **2.4. Términos Básicos:**

Y **Altitud:** Altura de un lugar respecto al nivel del mar.

Y **Atmósfera:** Es una capa de gases que contienen sustancias como el oxígeno, el nitrógeno y el dióxido de carbono, y otras en mínima proporción. Protege la superficie terrestre de las radiaciones del Sol y del cosmos, que absorbe total o parcialmente.

Y **Meteorología:** Ciencia que estudia los fenómenos atmosféricos, sus causas y sus mecanismos.

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### **3.1. Nivel de investigación:**

El nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un objeto o fenómeno.

Arias (2006) lo define como: “la caracterización de un hecho fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento, los mismos miden de forma independiente las variables y aun cuando se formulen hipótesis, las primeras aparecerán enunciadas en los objetivos de la investigación” (p. 46).

Según Sabino (1986) indica que “La investigación de tipo descriptiva trabaja sobre realidades de hechos, y su característica fundamental es la de presentar una interpretación correcta. Para la investigación descriptiva, su preocupación primordial radica en descubrir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, utilizando criterios sistemáticos que permitan poner de manifiesto su estructura o comportamiento. De esta forma se pueden obtener las notas que caracterizan a la realidad estudiada”. (Pág. 51).

Con la elaboración de una guía técnica para el estudio de variables meteorológicas y su relación con los procesos hidrológicos, se le dará al estudiante de ingeniería civil, una herramienta útil para entender el estudio en la materia de hidrología y así resolver las dudas que pueda tener con respecto a dicho tema, es por eso que esta investigación es de tipo descriptiva.

#### **3.2. Diseño de la investigación:**

Según Fideas G. Arias. (2006), define: “la investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de

datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas audiovisuales o electrónicas. Como toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos”. (p. 27).

Según la naturaleza de la investigación, se tiene que será de tipo documental, debido a que se debe proceder en la búsqueda y recopilación de información, de gran importancia para el desarrollo del tema.

### **3.3. Tipo de la investigación:**

Manual de la UPEL. (2010), define al proyecto factible como “la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos. El proyecto debe tener apoyo en una investigación de tipo documental, de campo o un diseño que incluya ambas modalidades” (p.21).

Se considera como un proyecto factible debido a que por medio de la elaboración de la guía técnica, se busca resolver las necesidades referentes a la falta de un material académico, que sirva de apoyo a los estudiantes cursantes de la materia de hidrología, de la escuela de ingeniería civil.

### **3.4. Población y muestra:**

Hurtado y Toro (1998), definen que: “población es el total de los individuos o elementos a quienes se refiere la investigación, es decir, todos los elementos que vamos a estudiar, por ello también se le llama universo. (p.79)”.

Balestrini (2006), explica la población como: “conjunto finito o infinito de personas, casos o elementos, que presentan características comunes” (p. 137).

Se tendrá un universo poblacional correspondiente a 190 estudiantes pertenecientes a la escuela de Ing. Civil de la Universidad José Antonio Páez cursantes del 7mo, 8vo y 9no semestre.

Eyssautier (2002), establece que la muestra: “Es un determinado número de unidades extraídas de una población por medio de un proceso llamado muestreo, con

el fin de examinar esas unidades con detenimiento; la información resultante se aplicara a todo el universo” (p. 196).

Se trabajó con una proporción del 21,05% del total correspondiente al universo poblacional, sin embargo se presenta un instrumento de recolección de datos, aplicada cuando es conocido el tamaño de la población y esta es expresada a continuación:

$$\frac{(3)^2 * 50 * 50 * 190}{(190 - 1) * (5)^2 + (3)^2 * 50 * 50} = 157,02.$$

### **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:**

Para Arias, F. (2006), los instrumentos de investigación "son los medios materiales que se emplean para recoger y almacenar la información." (p. 25).

Se debe indicar que la muestra de estudiantes con la que se trabajará, se le empleará la técnica de recolección de datos, correspondiente a la encuesta escrita y se utilizará como instrumento el cuestionario.

#### **3.5.1. Técnicas:**

Según Fidiás G. Arias (2006), “Se define la encuesta, como una técnica que pretende obtener información que suministra un grupo o muestra de sujetos acerca de sí mismos, o en relación a un tema en particular”.

#### **3.5.2. Instrumentos:**

Según Jesús, A. Silva. (2009), el cuestionario es un “Formulario impreso, con una serie de preguntas ordenadas y lógicas, destinado a obtener información objetiva de una determinada muestra”.

El tipo de cuestionario que se empleará, será el de la escala de actitud o de Likert.

### **3.6. Fases metodológicas:**

Para implementar este trabajo especial de grado, se deben llevar a cabo 3 fases metodológicas, las cuales son las siguientes:

**Fase I: Describir y explicar las variables que afectan los fenómenos de radiación, insolación, temperatura del aire, presión atmosférica y comportamiento de los vientos.**

En esta primera fase se describirá y explicará cada una de las variables meteorológicas, que son cada una de ellas, con qué instrumentos se pueden medir y si existe alguna clasificación, así como también su relación con los procesos hidrológicos.

**Fase II: Estudiar diferentes métodos de cálculo de uso actualizado y ejercicios relacionados, bajo el marco de la sustentabilidad ambiental, utilizando herramientas virtuales.**

En esta fase se estudiarán métodos más actualizados para la estimación de cada una de las variables meteorológicas, así como también se realizarán ejercicios paso a paso para que los estudiantes de ingeniería puedan ver más a detalle cómo se resuelven estos tipos de problemas tanto en lo académico como en la vida real, y por último se dejarán ejercicios propuestos con cierto grado de dificultad, para que el estudiante sea capaz de resolverlos con los conocimientos adquiridos.

**Fase III: Ensamblar la guía técnica de Hidrología, con el tema de estudio de las variables meteorológicas bajo el marco de la sustentabilidad.**

Por último se procederá ensamblar la guía técnica de hidrología, para su reproducción y su uso.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. Encuesta

Para comprobar si la guía es factible, se elaboró una encuesta donde se utilizó la aplicación de Google forms para que los estudiantes de Ingeniería Civil de los semestres de 7mo a 10mo pudieran responder de manera digital la encuesta. Este cuestionario fue respondido por 40 estudiantes, representando el 21,05% de la población seleccionada.

La elaboración del cuestionario es tipo escala de Likert, con la siguiente propuesta y calificación:

Totalmente de acuerdo	1
De acuerdo	2
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	3
En desacuerdo	4
Totalmente en desacuerdo	5

**Ítem 1:** La hidrología es importante para el Ingeniero Civil.



	<b>Respuestas</b>	<b>%</b>
Totalmente de acuerdo	36	90
De acuerdo	4	10
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	0	0
En desacuerdo	0	0
Totalmente en desacuerdo	0	0

**Análisis:** Como se puede observar en la gráfica uno (1), un total de 90% de los estudiantes de ingeniería civil a los cuales se les aplicó el cuestionario consideran que la hidrología es importante para el Ingeniero Civil.

**Ítem 2:** La comprensión del ciclo hidrológico y los procesos hidrológicos es relevante para el estudio de la Ingeniería Civil.



	<b>Respuestas</b>	<b>%</b>
Totalmente de acuerdo	28	70
De acuerdo	11	27,5
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	1	2,5
En desacuerdo	0	0
Totalmente en desacuerdo	0	0

**Análisis:** Como se puede observar en la gráfica dos (2), el 97,5% de los estudiantes encuestados consideran que la comprensión del ciclo hidrológico y los procesos hidrológicos es relevante para el estudio de la Ingeniería Civil, mientras que el 2,5% de los encuestados tienen una opinión neutral con respecto a la misma.

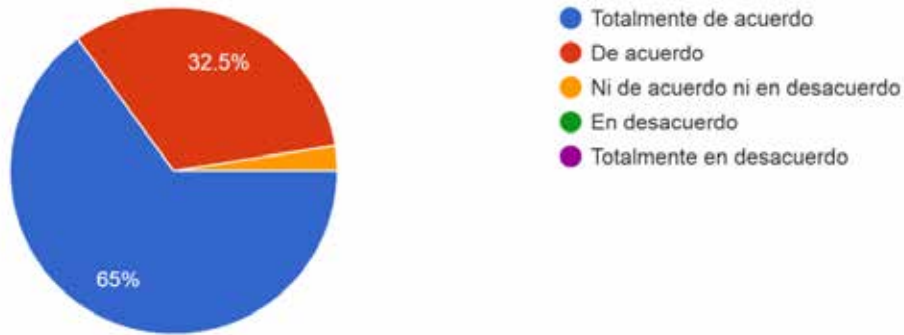
**Ítem 3:** El estudio de las variables meteorológica es de importancia para la comprensión de la hidrología.



	Respuestas	%
Totalmente de acuerdo	26	65
De acuerdo	13	32,5
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	1	2,5
En desacuerdo	0	0
Totalmente en desacuerdo	0	0

**Análisis:** Se observa en la gráfica tres (3) que el 97,5% de los estudiantes encuestados consideran que el estudio de las variables meteorológica es de importancia para la comprensión de la hidrología, mientras que el 2,5% de los encuestados tienen una opinión neutral con respecto a la misma.

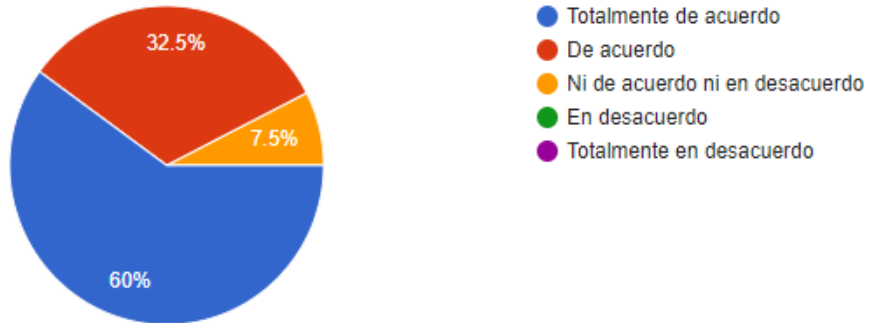
**Ítem 4:** El estudio de la hidrología requiere de información actualizada sobre variables meteorológicas.



	<b>Respuestas</b>	<b>%</b>
Totalmente de acuerdo	26	65
De acuerdo	13	32,5
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	1	2,5
En desacuerdo	0	0
Totalmente en desacuerdo	0	0

**Análisis:** Se observa en la gráfica cuatro (4) que el 97,5% de los estudiantes encuestados consideran que el estudio de la hidrología requiere de información actualizada sobre variables meteorológicas, mientras que el 2,5% de los encuestados tienen una opinión neutral con respecto a la misma.

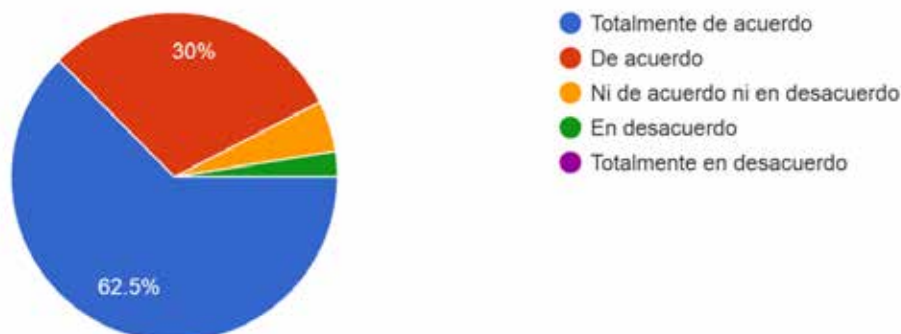
**Ítem 5:** Es de importancia para el Ingeniero Civil, considerar en el diseño estructural las variables meteorológicas tales como la radiación, insolación, temperatura del aire, presión atmosférica y vientos.



	<b>Respuestas</b>	<b>%</b>
Totalmente de acuerdo	24	60
De acuerdo	13	32,5
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	3	7,5
En desacuerdo	0	0
Totalmente en desacuerdo	0	0

**Análisis:** Se observa en la gráfica cinco (5) que el 92,5% de los estudiantes encuestados consideran que es de importancia para el Ingeniero Civil, considerar en el diseño estructural las variables meteorológicas tales como la radiación, insolación, temperatura del aire, presión atmosférica y vientos, mientras que el 7,5% de los encuestados tienen una opinión neutral con respecto a la misma.

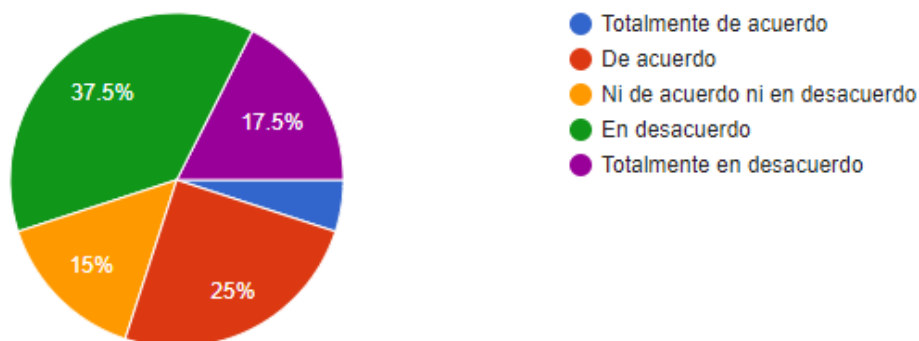
**Ítem 6:** El uso de data real es de importancia para la resolución de ejercicios prácticos en los estudios hidrológicos.



	<b>Respuestas</b>	<b>%</b>
Totalmente de acuerdo	25	62,5
De acuerdo	12	30
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	2	5
En desacuerdo	1	2,5
Totalmente en desacuerdo	0	0

**Análisis:** Se observa en la gráfica seis (6) que el 92,5% de los estudiantes encuestados consideran que el uso de data real es de importancia para la resolución de ejercicios prácticos en los estudios hidrológicos, el 5% de los encuestados tienen una opinión neutral y el 2,5% están en desacuerdo con la misma.

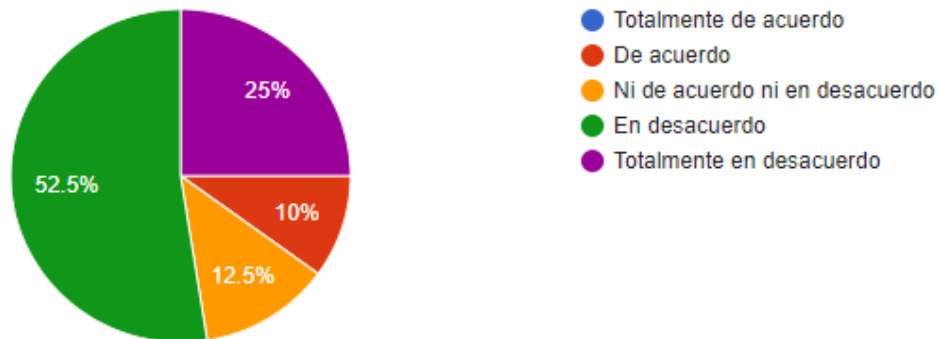
**Ítem 7:** La Universidad José Antonio Páez, cuenta con información necesaria bajo el marco de la sostenibilidad, relacionada a métodos de cálculo y aplicación práctica, en el estudio de las variables meteorológicas y su relación con los procesos hidrológicos.



	<b>Respuestas</b>	<b>%</b>
Totalmente de acuerdo	2	5
De acuerdo	10	25
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	6	15
En desacuerdo	15	37,5
Totalmente en desacuerdo	7	17,5

**Análisis:** Se observa en la gráfica siete (7) que las opiniones varían considerablemente, solo un 30% de los estudiantes encuestados consideran que la Universidad José Antonio Páez, cuenta con información necesaria bajo el marco de la sostenibilidad, relacionada a métodos de cálculo y aplicación práctica, en el estudio de las variables meteorológicas y su relación con los procesos hidrológicos, mientras que el 55% de los encuestados están en desacuerdo y el 15% de los encuestados tienen una opinión neutral de la misma.

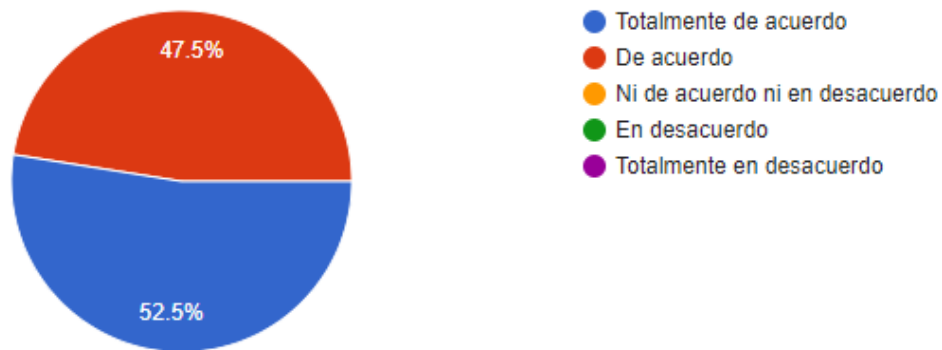
**Ítem 8:** Los estudiantes de Ingeniería Civil, actualmente cuentan con documentos actualizados y suficientes que le sirvan como guía de apoyo, como material didáctico, para el estudio de los fenómenos de radiación, insolación, temperatura del aire, presión atmosférica y vientos.



	<b>Respuestas</b>	<b>%</b>
Totalmente de acuerdo	0	0
De acuerdo	4	10
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	5	12,5
En desacuerdo	21	52,5
Totalmente en desacuerdo	10	25

**Análisis:** Se observa en la gráfica ocho (8) un 10% de los encuestados consideran que los estudiantes de Ingeniería Civil, actualmente cuentan con documentos actualizados y suficientes que le sirvan como guía de apoyo, como material didáctico, para el estudio de los fenómenos de radiación, insolación, temperatura del aire, presión atmosférica y vientos, mientras que el 77,5% de los encuestados reaccionaron de manera negativa y el 12,5% de los encuestados tienen una opinión neutral de la misma.

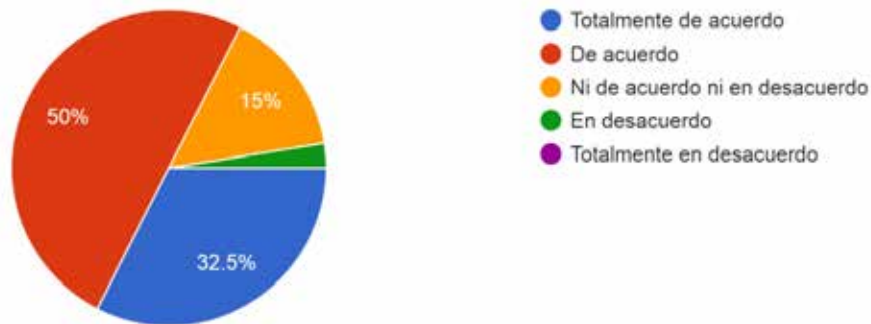
**Ítem 9:** El Diseñar una guía técnica para el estudio de las variables meteorológicas y su relación con los procesos hidrológicos aporta de manera práctica y teórica en la preparación de los estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad José Antonio Páez.



	<b>Respuestas</b>	<b>%</b>
Totalmente de acuerdo	21	52,5
De acuerdo	19	47,5
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	0	0
En desacuerdo	0	0
Totalmente en desacuerdo	0	0

**Análisis:** La gráfica nueve (9) el 52,5% de los estudiantes encuestados están totalmente de acuerdo con que el Diseñar una guía técnica para el estudio de las variables meteorológicas y su relación con los procesos hidrológicos aporta de manera práctica y teórica en la preparación de los estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad José Antonio Páez, y el 47,5% de los encuestados están de acuerdo con la misma.

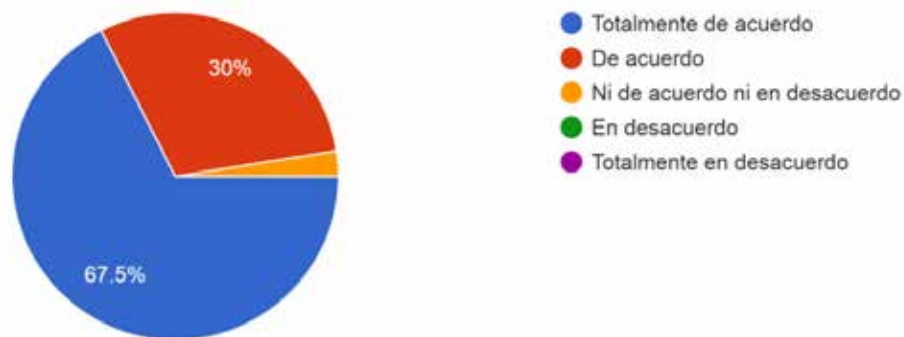
**Ítem 10:** La variación de los niveles de radiación, insolación y humedad inciden directamente en el ciclo hidrológico.



	Respuestas	%
Totalmente de acuerdo	13	32,5
De acuerdo	20	50
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	6	15
En desacuerdo	1	2,5
Totalmente en desacuerdo	0	0

**Análisis:** La gráfica diez (10) hubo variación con respecto a las respuestas, el 82,5% de los estudiantes encuestados consideran que la variación de los niveles de radiación, insolación y humedad inciden directamente en el ciclo hidrológico, el 2,5% está en desacuerdo, y el 15% de los encuestados tienen una opinión neutral de la misma.

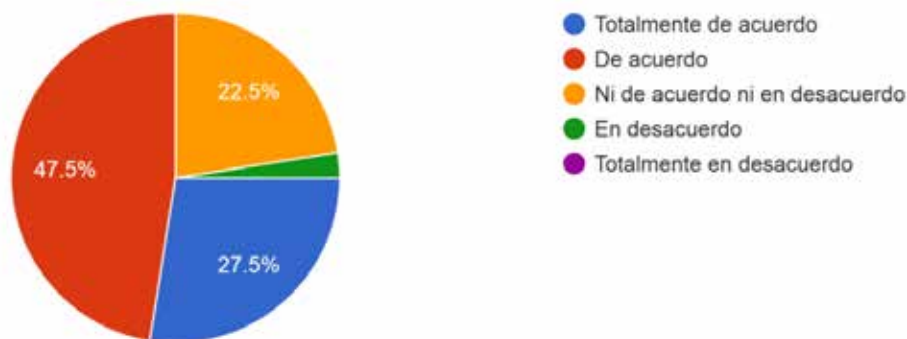
**Ítem 11:** El estudio de los vientos y su comportamiento es importante para el diseño de obras civiles.



	<b>Respuestas</b>	<b>%</b>
Totalmente de acuerdo	27	67,5
De acuerdo	12	30
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	1	2,5
En desacuerdo	0	0
Totalmente en desacuerdo	0	0

**Análisis:** La gráfica once (11) el 97,5% de los estudiantes encuestados consideran que el estudio de los vientos y su comportamiento es importante para el diseño de obras civiles, y el 2,5% de los encuestados tienen una opinión neutral de la misma.

**Ítem 12:** La variabilidad de la presión de vapor es relevante en los procesos hidrológicos.

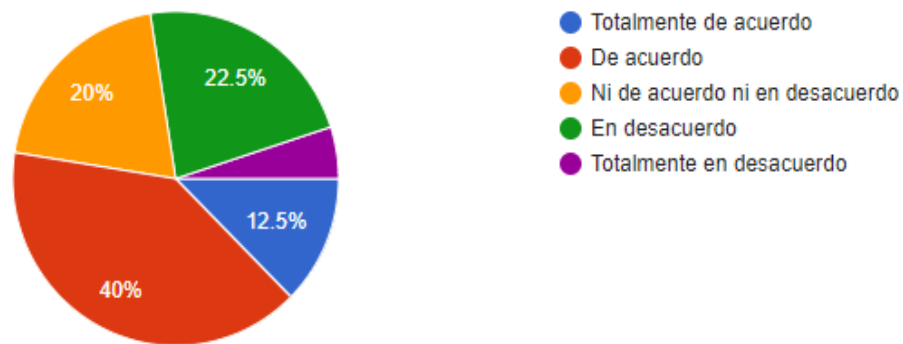


	<b>Respuestas</b>	<b>%</b>
Totalmente de acuerdo	11	27,5
De acuerdo	19	47,5
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	9	22,5
En desacuerdo	1	2,5
Totalmente en desacuerdo	0	0

**Análisis:** La gráfica doce (12) el 75% de los estudiantes encuestados consideran que la variabilidad de la presión de vapor es relevante en los procesos

hidrológicos, el 22,5% de los encuestados tienen una opinión neutral y el 2,5% está en desacuerdo con la misma.

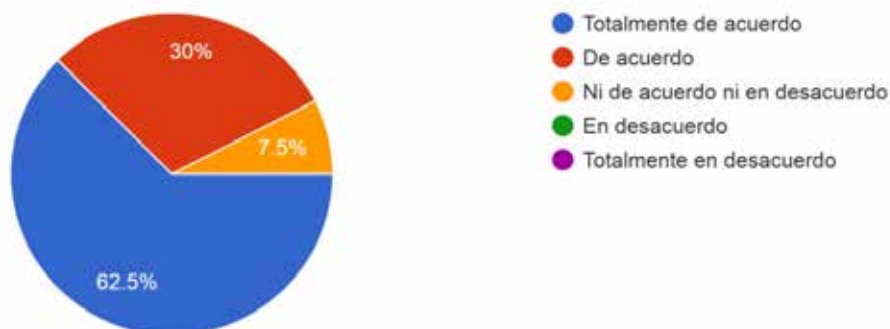
**Ítem 13:** La difusión actual, sobre los procesos meteorológicos e hidrológicos es suficiente para su comprensión y aplicación al aprendizaje en la Ingeniería Civil.



	<b>Respuestas</b>	<b>%</b>
Totalmente de acuerdo	5	12,5
De acuerdo	16	40
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	8	20
En desacuerdo	9	22,5
Totalmente en desacuerdo	2	5

**Análisis:** La gráfica trece (13) el 52,5% de los estudiantes encuestados consideran que la difusión actual, sobre los procesos meteorológicos e hidrológicos es suficiente para su comprensión y aplicación al aprendizaje en la Ingeniería Civil, el 20% de los encuestados tienen una opinión neutral, el 27,5% opinan que esta no es suficiente.

**Ítem 14:** Es relevante para el Ingeniero Civil realizar los proyectos y diseños que incluyan las variables meteorológicas, en el marco de la sostenibilidad.



	<b>Respuestas</b>	<b>%</b>
Totalmente de acuerdo	25	62,5
De acuerdo	12	30
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	3	7,5
En desacuerdo	0	0
Totalmente en desacuerdo	0	0

**Análisis:** La gráfica catorce (14) el 92,5% de los estudiantes encuestados consideran que es relevante para el Ingeniero Civil realizar los proyectos y diseños que incluyan las variables meteorológicas, en el marco de la sostenibilidad y sólo un 7,5% de los encuestados tienen una opinión neutral de la misma.

Una vez realizado el análisis de las catorce (14) preguntas del cuestionario, se puede llegar a la conclusión que la elaboración de la guía técnica de hidrología para el estudio de variables meteorológicas y su relación con procesos hidrológicos, en la Ingeniería Civil es factible.

#### **4.2 Fases metodológicas:**

Para implementar este trabajo especial de grado, se deben llevar a cabo 3 fases metodológicas, las cuales son las siguientes:

**Fase I: Describir y explicar las variables que afectan los fenómenos de radiación, insolación, temperatura del aire, presión atmosférica y comportamiento de los vientos.**

En esta primera fase se describió y se explicó cada una de las variables meteorológicas que fueron distribuidas en 4 capítulos, correspondiendo la 5ta a sostenibilidad, en donde se presentó sus conceptos claves, las clasificaciones que puedan tener, con qué instrumentos es posible medirlas, así como también su relación con los procesos hidrológicos.

**Fase II: Estudiar diferentes métodos de cálculo de uso actualizado y ejercicios relacionados, bajo el marco de la sustentabilidad ambiental, utilizando herramientas virtuales.**

En esta fase se contempló métodos actualizados para la estimación de cada una de las variables meteorológicas, exponiendo sus limitaciones y su aplicabilidad para cada uno, así como también se realizó ejercicios paso a paso con detalle para que los estudiantes de Ingeniería Civil, visualicen cómo es la aplicación del método para la resolución de problemas aplicados tanto a nivel académico como aquellos casos de la vida real, de manera tal que la organización de la información, se expone de tal forma que su comprensión fuese lo más sencilla posible y por último se establecen ejercicios propuestos con cierto grado de dificultad, para que el estudiante sea capaz de resolverlos con los conocimientos adquiridos.

**Fase III: Ensamblar la guía técnica de Hidrología, con el tema de estudio de las variables meteorológicas bajo el marco de la sustentabilidad.**

Una vez establecida la guía conformada por cinco capítulos junto con los distintos métodos de cálculo y sus respectivos ejercicios, se procedió a ensamblar la guía técnica para el estudio y cálculo de las variables meteorológicas.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones:

En definitiva, luego de haber elaborado la guía técnica de hidrología para el estudio de variables meteorológicas y su relación con procesos hidrológicos, se pudo llegar a las siguientes conclusiones:

ÿ Contar con un material académico provee al usuario una herramienta para optimizar la comprensión de la información que recibe, logrando esto mediante el planteamiento de objetivos, la presentación de textos concisos y en un lenguaje de fácil comprensión y ejercicios resueltos como propuestos; la potestad para que este pueda autoevaluar los conocimientos adquiridos previamente, logrando así la obtención de habilidades que les sean útiles y aplicables en su vida personal, académica y profesional, siendo además una herramienta de apoyo y otra forma de aprendizaje fundamental, para mejorar los conocimientos adquiridos además las ofrecidas por el profesor.

ÿ Existe una gran variedad de métodos de cálculo para las variables meteorológicas, las cuales estos varían por la diversa cantidad de autores existentes y de información que se encuentra de manera dispersa en los textos y publicaciones, por lo que contar con una guía técnica que recopile toda la información perteneciente a radiación, insolación, presión atmosférica, temperatura y vientos es de gran utilidad para el estudiante universitario.

ÿ Si se cuenta con un buen análisis en lo que respecta a la orientación y materiales a emplear en una obra civil, esto traerá consigo un diseño acorde al medio físico, funcional y económico, bajo el marco de la sustentabilidad.

Y Al momento de realizar un diseño de obras civiles, es necesario considerar la influencia que tendrán las variables meteorológicas sobre las mismas ya que estas afectan el comportamiento final que la estructura tendrá, debido a esto la no inclusión puede generar daños y fallas graves, pues una estructura no se encuentra aislada del entorno natural.

## **5.2. Recomendaciones:**

Como resultado del presente trabajo de investigación se presentan las siguientes recomendaciones:

Y Investigar acerca de otros métodos de cálculo para radiación, insolación, temperatura, vientos al igual que presión atmosférica.

Y Continuar este proyecto con la investigación, mediante la elaboración de otras guías que lleguen a abarcar temas de gran importancia a considerar por un ingeniero civil en las distintas ramas de la Hidrología, para seguir con la modernización del sistema de aprendizaje en la Carrera de Ingeniería Civil.

Y Elaborar esta clase de guías técnicas de cálculo para el estudiante en las demás materias vistas en la carrera de ingeniería civil.

Y Considerar en guías futuras la incorporación de la sostenibilidad ambiental, ya que actualmente además de tomar en cuenta la economía, seguridad y funcionalidad en obras civiles, se debe tener presente en todo momento la gestión ambiental del mismo debido a que la viabilidad del proyecto está determinada por su factibilidad ambiental.

Y Investigar cómo pueden influir las variables meteorológicas como lo son la radiación, insolación, temperatura del aire, presión atmosférica y vientos en el área de las obras hidráulicas, para que el estudiante pueda tener un amplio conocimiento de la incidencia de las mismas en todas las áreas que abarca la ingeniería civil.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, F. (1999). . Edición:  
Episteme.
- Caso, S. y Abou-Said, W. (2008).  
. Trabajo de grado.  
Universidad Católica Andrés Bello, Venezuela.
- Concepto definiciones. (2014). [Página Web en Línea]. Disponible en:  
<http://conceptodefinicion.de/presion-atmosferica/>
- Culturizando. (2018). [Página Web en Línea]. Disponible en:  
<http://culturizando.com/la-nota-curiosa-que-se-le-llama-presion/>
- El País, Periódico Global. (2017). [Página Web en Línea]. Disponible en:  
<https://weather.com/es-ES/espana/tiempo/news/espana-temperatura-11102017>
- ERENOVABLE. (2018). . Recuperado el 22 de Julio de 2018, de  
<https://erenovable.com/como-funcionan-los-paneles-solares/>
- Gomariz, F. (2016).  
. Trabajo de grado. Universidad  
de Murcia, España.
- Hernández, Fernández, Bastida. (1997).  
Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. [Página Web en Línea]. Disponible  
en: [http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/le/cc\\_tempe.htm](http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/le/cc_tempe.htm)
- Marimar, M. (24 de Abril de 2018). . Recuperado el 22 de Julio de  
2018, de ERENOVABLE: <https://erenovable.com/aerogeneradores-eolicos/energia-eolica/>
- Méndez, C. (2001) . 3ra Edición,  
Bogotá.
- Meteorología en red. (2016). [Página Web en Línea]. Disponible en:  
<https://www.meteorologiaenred.com/presion-atmosferica.html>

Moore, W. L, Tarafdar, M. R, y Gilbrich, W. H. (1975).

Paris: Unesco.

Navarra.es. [Página Web en Línea]. Disponible en:

<http://meteo.navarra.es/definiciones/insolacion.cfm>

Ortiz, O. Jy Tauta, J. F. (2008).

. Trabajo de grado. Bogotá,

Colombia.

Universidad José Antonio Páez (2007).

. San Diego, Venezuela.

Universidad Pedagógica Experimental Libertador (U.P.E.L.). (1998).

. Venezuela.

Vela, C. (2018).

Trabajo de grado. Universidad José Antonio Páez. San Diego, Venezuela.

Zapata, J. A. (15 de Junio de 2015). . Recuperado el 22 de Junio de 2018,  
de <http://estructurando.net/2015/06/15/ingenieria-del-viento-o-como-no-salir-volando/>

## APENDICE I



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

## ENCUESTA

Estimado estudiante, el presente cuestionario es parte del trabajo de investigación cuyo objetivo general es, **GUÍA TÉCNICA DE HIDROLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE VARIABLES METEOROLÓGICAS Y SU RELACIÓN CON PROCESOS HIDROLÓGICOS, EN LA INGENIERÍA CIVIL** realizada por las estudiantes Mariangel Mayorga Rojas. C.I: 26.116.928, Aurimar Nieves Monsalve C.I: 21.454.006. Por favor señala la opción que consideres más ajustada a la realidad. Las alternativas a considerar son:

TOTALMENTE DE ACUERDO	5
DE ACUERDO	4
NI DE ACUERDO NI EN DESACUERDO	3
EN DESACUERDO	2
TOTALMENTE EN DESACUERDO	1

## APENDICE II



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

### VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

**Profesora:** Ing. Alicia de Pizzella.

Por medio de la presente nos dirigimos a usted con el fin de solicitar la evaluación del cuestionario que se anexa, para recabar información sobre la elaboración de la tesis titulada **GUÍA TÉCNICA DE HIDROLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE VARIABLES METEOROLÓGICAS Y SU RELACIÓN CON PROCESOS HIDROLÓGICOS, EN LA INGENIERÍA CIVIL** realizada por las estudiantes Mariangel Mayorga Rojas. C.I: 26.116.928, Aurimar Nieves Monsalve C.I: 21.454.006. Por favor señala la opción que consideres más ajustada a la realidad. Las alternativas a considerar son:

TOTALMENTE DE ACUERDO	5
DE ACUERDO	4
NI DE ACUERDO NI EN DESACUERDO	3
EN DESACUERDO	2
TOTALMENTE EN DESACUERDO	1

## CUESTIONARIO

PREGUNTAS	5	4	3	2	1
1. La hidrología es importante para el Ingeniero Civil.					
2. La comprensión del ciclo hidrológico y los procesos hidrológicos es relevante para el estudio de la Ingeniería Civil.					
3. El estudio de las variables meteorológicas es de importancia para la comprensión de la hidrología.					
4. El estudio de la hidrología requiere de información actualizada sobre variables meteorológicas.					
5. La Universidad José Antonio Páez, cuenta con información necesaria bajo el marco de la sostenibilidad, relacionada a métodos de cálculos y aplicación práctica, en el estudio de las variables meteorológicas y su relación con los procesos hidrológicos.					
6. Es de importancia para el ingeniero civil, considerar en el diseño estructural las variables meteorológicas tales como la radiación, insolación, temperatura del aire, presión atmosférica y vientos.					
7. El uso de data real es de importancia para la resolución de ejercicios prácticos en los estudios hidrológicos.					
8. Los estudiantes de Ingeniería Civil, actualmente cuentan con documentos actualizados y suficientes que le sirvan como guía de apoyo, como material didáctico, para el estudio de los fenómenos de radiación, insolación, temperatura del aire, presión atmosférica y vientos.					
9. El Diseñar una guía técnica para el estudio de las variables meteorológicas y su relación con los procesos hidrológicos aporta de manera práctica y teórica en la preparación de los estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad José Antonio Páez.					
10. La variación de los niveles de radiación, insolación y humedad inciden directamente en el ciclo hidrológico.					
11. El estudio de los vientos y su comportamiento es importante para el diseño de obras civiles.					
12. La variabilidad de la presión de vapor es relevante en los procesos hidrológicos.					
13. La difusión actual, sobre los procesos meteorológicos e hidrológicos es suficiente para su comprensión y aplicación al aprendizaje en la Ingeniería Civil.					
14. Es relevante para el Ingeniero Civil realizar los proyectos y diseños que incluyan las variables meteorológicas, en el marco de la sostenibilidad.					

## TABLA DE ESPECIFICACIONES

**Instrumento:** Cuestionario dirigido a estudiantes de la escuela de Ingeniería Civil.

ÍTEM	1		2		3		4	
	Si	no	si	no	si	no	si	No
1. La redacción del ítem es clara	X		X	X			X	
2. El ítem tiene coherencia interna.	X		X	X			X	
3. El ítem induce a la respuesta.		X		X		X		X
4. El ítem mide lo que se pretende.	X		X	X			X	

ÍTEM	5		6		7		8	
	Si	no	si	no	si	no	si	No
1. La redacción del ítem es clara.	X		X		X		X	
2. El ítem tiene coherencia interna.	X		X		X		X	
3. El ítem induce a la respuesta.		X		X		X		X
4. El ítem mide lo que se pretende.	X		X		X		X	

ÍTEM	9		10		11		12		13	
	Si	no	si	no	si	no	si	no	si	no
1. La redacción del ítem es clara.	X		X		X		X		X	
2. El ítem tiene coherencia interna.	X		X		X		X		X	
3. El ítem induce a la respuesta		X		X		X		X		X
4. El ítem mide lo que se pretende.	X		X		X		X		X	

Apellido y Nombre del Docente \_\_\_\_\_

Cédula de Identidad \_\_\_\_\_ Profesión \_\_\_\_\_

Magister en \_\_\_\_\_

Firma \_\_\_\_\_

## APENDICE III

CONFIABILIDAD DEL CUESTIONARIO														
GUÍA TÉCNICA DE HIDROLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE VARIABLES METEOROLÓGICAS Y SU RELACIÓN CON PROCESOS HIDROLÓGICOS, EN LA INGENIERÍA CIVIL														
MAYORCA Y NIEVES														
1. ¿La hidrología es importante para el Ingeniero Civil?	2. ¿La comprensión del ciclo hidrológico y los procesos hidrológicos es relevante para el estudio de la Ingeniería Civil?	3. ¿El estudio de las variables meteorológicas es de importancia para la comprensión de la hidrología?	4. ¿El estudio de la hidrología requiere de información actualizada sobre variables meteorológicas?	5. ¿La Universidad José Antonio Páez, cuenta con información necesaria bajo el marco de la sostenibilidad, relacionada a métodos de cálculos y aplicación práctica, en el estudio de las variables meteorológicas y su relación con los procesos hidrológicos?	6. ¿Es de importancia para el ingeniero civil, considerar en el diseño estructural las variables meteorológicas tales como la radiación, insolación, temperatura del aire, presión atmosférica y vientos?	7. ¿El uso de data real es de importancia para la resolución de ejercicios prácticos en los estudios hidrológicos?	8. ¿Los estudiantes de Ingeniería Civil, actualmente cuentan con documentos actualizados y suficientes que sirvan como guía de apoyo, como material didáctico, para el estudio de los fenómenos de radiación, insolación, temperatura del aire, presión atmosférica y vientos?	9. ¿El enseñar una guía técnica para el estudio de las variables meteorológicas y su relación con los procesos hidrológicos aporta de manera práctica y teórica en la preparación de los estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad?	10. ¿La variación de los niveles de radiación, insolación y humedad inciden directamente en el ciclo hidrológico.	11. ¿El estudio de los vientos y su comportamiento para el diseño de obras civiles?	12. ¿La variabilidad de la presión de vapor es relevante en los procesos hidrológicos?	13. La difusión actual, sobre los procesos meteorológicos e hidrológicos es suficiente para su comprensión y aplicación al aprendizaje en la Ingeniería Civil.	14. Es relevante para el Ingeniero Civil realizar los proyectos y diseños que incluyan las variables meteorológicas, en el marco de la sostenibilidad	
1	5	5	5	5	5	5	1	5	4	4	1	5	3	5
2	5	5	5	5	5	1	2	5	2	5	2	5	2	5
3	5	5	5	5	5	2	2	5	2	1	2	5	3	5
4	5	5	5	5	5	1	1	5	2	5	2	5	2	5
5	5	5	5	4	3	1	1	5	2	4	2	5	1	4
6	5	5	3	5	5	2	1	5	2	4	1	5	1	4
7	4	4	5	5	2	1	1	5	2	3	1	5	4	5
8	5	5	5	5	1	2	2	5	2	5	1	4	2	4
9	5	5	5	4	2	4	2	4	2	4	2	4	3	1
10	5	5	4	5	3	1	5	5	2	1	1	5	2	4
11	5	4	5	5	4	1	1	5	2	4	1	5	3	4
12	5	5	4	5	4	1	3	5	1	5	1	5	1	2
13	5	5	5	5	1	1	2	5	1	5	2	5	1	5
14	5	5	4	5	2	2	2	5	2	5	5	5	1	5
15	5	4	5	5	3	1	5	5	2	5	5	5	1	5
16	5	5	4	1	3	4	4	5	1	4	2	3	2	5
17	5	5	5	5	3	1	2	5	1	4	1	5	3	5
18	4	4	4	4	3	2	2	5	5	5	2	5	1	5
19	4	5	5	5	2	1	2	5	1	5	1	5	1	5
20	5	5	5	5	2	2	2	5	5	3	1	1	1	4
21	5	5	5	5	3	2	1	5	2	5	2	5	2	5
22	5	5	5	5	3	5	4	3	2	2	2	4	1	5
23	5	5	5	5	3	2	2	5	3	4	1	5	2	4
24	5	5	5	4	5	1	1	5	3	5	2	5	1	4
25	5	4	5	5	3	2	3	5	4	5	1	5	2	4
26	5	5	4	5	3	1	3	5	3	5	1	5	5	4
27	5	5	4	5	5	1	2	4	2	5	2	4	5	5
28	5	4	4	5	5	2	2	5	2	5	1	5	5	5
29	5	5	5	3	5	1	3	5	5	5	1	4	5	5
30	4	4	5	5	5	1	3	2	2	5	2	5	5	5
31	5	5	5	5	2	1	2	3	2	5	2	5	1	5
32	5	4	5	2	4	2	1	2	2	2	1	5	1	5
33	5	5	4	5	3	1	2	5	2	5	2	1	4	5
34	5	5	5	5	3	2	2	5	1	5	1	4	1	5
35	5	5	5	5	3	2	2	5	2	5	2	5	3	5
36	5	5	4	5	3	2	2	5	2	5	1	5	4	5
37	5	5	5	5	3	1	1	5	2	5	2	1	5	5
38	5	5	5	5	3	3	4	5	1	3	1	5	1	5
39	5	5	5	5	3	2	2	5	1	5	2	5	1	5
40	5	5	5	3	2	5	3	5	5	3	3	1	1	5
	0,09230769	0,16410256	0,26666667	0,80449	1,394871795	1,39423077	1,13846154	0,62564103	1,33269231	1,32051282	0,88205128	1,52620513	2,17371795	0,71217949
			V = 1,52820513										Vt = 13,8301282	
<b>LEYENDA</b>														
V = Varianza														
Vt = Varianza total														
Sumatoria de las varianzas de las encuestas														
N = Número de Items (14)														
<b>CÁLCULO DEL COEFICIENTE ALFA DE CRONBACH</b>														
= $\frac{N}{N-1} \times \left( 1 - \frac{V}{Vt} \right) = 0,97$														

## CAPÍTULO VI

### GUÍA TÉCNICA

#### 6.1. Introducción a la guía técnica

En el presente capítulo se incluye la propuesta de investigación, realizada por las estudiantes de ingeniería civil: Mariangel Mayorga Rojas y Aurimar Nieves; titulares de la cedula de identidad N° 26.116.928 y N° 21.454.006, con la tutoría de la Ingeniero Emerly Castillo S; titular de la cedula de identidad N° 4.464.524.

Es importante mencionar que dicha guía técnica está estructurada en 5 capítulos:

**Capítulo I. Radiación e insolación:** En este capítulo se definen estas variables meteorológicas, en donde se identifican y se deja en evidencia para el lector la gran relación entre ellas, además de la clasificación existente, los instrumentos que permiten medirla, la importancia que tiene para el Ingeniero Civil, los software que pueden calcularlas, al igual que los métodos de cálculo que permiten determinarlas dejando claramente las limitaciones aplicabilidades que tienen los métodos, finalmente se explican de manera detallada ejercicios, para que seguidamente se ponga a prueba los conocimientos adquiridos por el estudiante, por medio de ejercicios propuestos.

**Capítulo II. Vientos:** Definición, tipos, instrumentos de medición, importancia para el Ingeniero Civil, software que lo determina, métodos de cálculo con limitaciones y aplicabilidad, ejercicios y ejercicios propuestos.

**Capítulo III. Temperatura:** Definición, tipos, instrumentos de medición, importancia para el Ingeniero Civil, software que lo determina, métodos de cálculo con limitaciones y aplicabilidad, ejercicios y ejercicios propuestos.

**Capítulo IV. Presión atmosférica:** Definición, tipos, instrumentos de medición, importancia para el Ingeniero Civil, software que lo determina, métodos de cálculo con limitaciones y aplicabilidad, ejercicios y ejercicios propuestos.

**Capítulo V. Sostenibilidad:** Se da a conocer al lector la importancia que tiene la consideración e incorporación del uso de técnicas y diseños que contribuyan al desarrollo sostenible en los proyectos de obras civiles que se encuentran relacionados con las variables meteorológicas desarrolladas en los anteriores capítulos, en donde gracias al uso de las mismas se obtiene la minimización de las descargas ambientales que se producen al utilizar energías convencionales, además de las ventajas que supone el uso de ellas y las características que presentan.



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



# GUÍA TÉCNICA DE HIDROLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE VARIABLES METEOROLÓGICAS Y SU RELACIÓN CON PROCESOS HIDROLÓGICOS, EN LA INGENIERÍA CIVIL



AUTORES: MARIANGEL MAYORGA.  
AURIMAR NIEVES.

TUTOR ACADÉMICO: EMERLY B CASTILLO S.

SAN DIEGO, ENERO DE 2019

## DEDICATORIA

Quiero expresar principalmente nuestro agradecimiento a Dios por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

ÿ **A mis padres**, Cesar Mayorga y Rosa Mayorga Por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas, gracias a mi madre por estar dispuesta a acompañarme cada larga y agotadora noche de estudio; gracias a mi padre por siempre desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida, gracias por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida.

ÿ **A mi familia**, Por estar siempre ayudándome y apoyándome.

ÿ **A la Ing. Emerly Castillo**, nuestra tutora de tesis, por todo el tiempo de dedicación invertido en la ayuda de la culminación de este trabajo de grado, todas sus sugerencias y comentarios, que han contribuido, sin duda, a mejorar el resultado final de esta guía técnica que esperamos sirva de ayuda y disfrute para todo aquél que la utilice. El día de hoy deseo honrar su vida a través de esta dedicatoria, hoy dedico a la Ing. Emerly Castillo esta tesis y agradezco a ella cada momento de dedicación en sus clases, agradezco a ella por desarrollar con excelencia su labor.

ÿ **A los profesores**, Por haber formado parte de nuestra formación profesional, impartiendo en nosotras sus conocimientos en todo nuestro desarrollo en la carrera.

ÿ **A mis compañeros universitarios**, Por todo el apoyo y los ratos memorables que pasamos a lo largo de la carrera.

ÿ **A la Universidad José Antonio Páez**, Por ofrecerme la oportunidad de estudiar la carrera de Ingeniería Civil.

*“El arte supremo del maestro consiste en despertar el goce de la expresión creativa y del conocimiento.”*

Albert Einstein.

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar mi trabajo especial de grado a Dios y la Virgen María por haberme dado la oportunidad de cumplir esta gran meta, por sus dones y llevarme de su mano en todo momento.

- **A mis padres**, Delia Monsalve y Juan Nieves por siempre apoyarme, a mi madre por su ayuda no solo monetaria en algún momento de mi carrera sino también por anhelar siempre lo mejor para mí, inculcarme buenos valores y su apoyo incondicional.

- **A mi familia**, Por su gran apoyo en el transcurso de mi carrera

- **A mi esposo**, Rubén Araujo por su ayuda monetaria y siempre ser mi apoyo en los momentos difíciles, por su paciencia, por darme ánimos, no permitirme desistir, sus buenos consejos y su compañía durante toda la carrera.

- **A mi hija**, Sofía Araujo por ser mi principal motor para culminar esta etapa.

- **A mis amigos**, A todos mis amigos cercanos por brindarme su apoyo durante mi carrera y sus buenos consejos.

Y **A la Ing. Emerly Castillo**, nuestra tutora de tesis, por todo el tiempo de dedicación invertido en la ayuda de la culminación de este trabajo de grado, todas sus sugerencias y comentarios, que han contribuido, sin duda, a mejorar el resultado final de esta guía técnica que esperamos sirva de ayuda y disfrute para todo aquél que la utilice.

Y **A los profesores**, Por haber formado parte de nuestra formación profesional, impartiendo en nosotras sus conocimientos en todo nuestro desarrollo en la carrera.

Y **A mis compañeros universitarios**, Que nos ayudamos mutuamente en nuestra formación como profesional, y por los buenos momentos compartidos.

Y **A la Universidad José Antonio Páez**, Por ofrecerme la oportunidad de estudiar la carrera de Ingeniería Civil.

*“Intenta no volverte un hombre de éxitos, sino un hombre de valor.”*

Albert Einstein.

## PRÓLOGO

El concepto de elaborar una guía técnica cuyo objetivo principal fuese el estudio de variables meteorológicas y su relación con procesos hidrológicos, en la ingeniería civil, fue proporcionada por la Ing. Emerly Castillo, quien fue nuestra profesora de las materias del pensum correspondientes a Hidrología y la electiva de Gestión Ambiental para Obras Civiles, en aquella ocasión durante una conversación que se tuvo con la Ingeniera Emerly Castillo, se nos propuso como tema de trabajo de grado la elaboración de esta guía técnica, para que los estudiantes de ingeniería civil, pudiesen contar con un material que les permitiera conocer la importancia de considerar las variables meteorológicas y su relación existente con los procesos hidrológicos en la realización de diversos proyectos como futuros ingenieros civiles, además de los métodos de cálculo asociados a estas, los software que permiten determinarlas, al igual que la visión de estas variables siempre bajo el marco de la sustentabilidad; esta experiencia nos sirvió por otra parte como un refuerzo adicional a nuestros conocimientos previos, en todos los temas que conforman la guía técnica.

Es relevante destacar que esta guía está dedicada a los estudiantes de Ingeniería Civil, como un medio de consulta óptimo y eficiente para complementar los conocimientos adquiridos en las aulas y estos puedan profundizar en ellos, para que estos en un futuro puedan ejercer su carrera sin ningún problema, aplicando los conocimientos adquiridos en su etapa como estudiante.

## ÍNDICE CONTENIDO

<b>CAPITULO I.....</b>	<b>2</b>
Radiación.....	2
Descripción.....	2
Tipos de radiación solar: .....	5
Insolación:.....	8
Definición:.....	8
Medición de la radiación e insolación: .....	9
Aplicabilidad en la Ingeniería Civil: .....	25
Disposición de las superficies de cristal con respecto al sol:.....	26
Software para determinar la radiación e insolación:.....	30
Métodos de cálculo: .....	32
ÿ Métodos de algoritmo de cuenca visual hemisférica desarrollados por Rich et al. (Rich 1990, Rich et al. 1994) y ampliados por Fu y Rich: .....	32
ÿ Relación entre Radiación y Temperatura (Método de Stefan Boltzmann y de Wien):.....	38
ÿ Métodos de cálculo de la insolación diurna:.....	40
ÿ Cálculo de la cantidad de paneles solares:.....	40
Unidades de medición: .....	42
Cuadro resumen de métodos explicados: .....	43
Ejercicios resueltos: .....	43
Ejercicios propuestos:.....	55
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>59</b>
Vientos:.....	59
Descripción: .....	59

Factores que intervienen en el movimiento del viento:.....	59
Dirección del viento:.....	62
Variación de la intensidad del viento según su velocidad:.....	62
Tipos de vientos:.....	63
Instrumentos de medición:.....	65
ÿ Anemómetro:.....	65
ÿ Veleta:.....	66
Aplicabilidad en la Ingeniería Civil:.....	67
Fenómenos aeroelásticos típicos:.....	68
ÿ Galope:.....	68
ÿ Flameo:.....	70
ÿ Bataneo:.....	72
ÿ Vibración inducida por desprendimiento de torbellinos:.....	73
Software para determinar la acción de los vientos:.....	77
Métodos de cálculo:.....	79
ÿ Por medio de la fórmula genérica:.....	79
ÿ Por medio de la fórmula desarrollada por la Alianza de Industrias Electrónicas:.....	80
ÿ Por medio de la fórmula del Código de Construcción Uniforme (UBC) de 1997:.....	82
Figura 25. Tabla 16-K del Código de Construcción Uniforme.....	84
Cuadro resumen de métodos explicados:.....	85
Ejercicios resueltos:.....	86
Ejercicios propuestos:.....	91
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>94</b>
Temperatura del aire:.....	94
Descripción:.....	94
Factores de variación de la temperatura:.....	95
Unidades de medición:.....	97

Instrumentos de medición:.....	97
ÿ Termómetro de mercurio:.....	97
ÿ Termómetros de máxima y mínima:.....	98
Aplicabilidad en la Ingeniería Civil:.....	100
Métodos de Cálculos:.....	100
ÿ Conversión de temperatura:.....	100
ÿ Temperatura media según Guevara (1987):.....	101
ÿ Estimación de la temperatura media para un sitio sin registros (Método gradiente altotérmico):.....	101
Cuadro resumen de métodos explicados:.....	102
Ejercicios resueltos:.....	103
Ejercicios propuestos:.....	105
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>108</b>
Presión atmosférica:.....	108
Definición:.....	108
Instrumentos de medición:.....	109
ÿ Barómetro de Torricelli:.....	109
ÿ Ecuación fundamental de la hidrostática:.....	110
ÿ Barómetro aneroide:.....	111
Métodos de cálculo:.....	112
ÿ Ecuación de la presión:.....	112
ÿ Estimación de la presión atmosférica de localidades venezolanas según Luis Guillermo Hidalgo: Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería Caracas, Ciudad Universitaria, Venezuela. Año (2017):.....	113
Software para determinar la presión atmosférica:.....	116
Cuadro resumen de métodos explicados:.....	118
Ejercicios resueltos:.....	119
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>126</b>
Importancia del estudio de la radiación para la sostenibilidad:.....	126
Ventajas del uso de la energía solar para la generación de electricidad:.....	127

Proyectos sustentables que incluyen el uso de paneles solares: .....	130
ÿ Estadio de Fútbol Kaouhsiung (Taiwán): .....	131
ÿ Edificios de Oficinas Sostenibles - Arco Solar de Sanyo, Tokio (Japón): 133	
ÿ Edificios de Oficinas Sostenibles - Acciona, Navarra (España): .....	134
FedEx, Medio Ambiente y Eficiencia:.....	135
FedEx y la inclusión de instalaciones fotovoltaicas: .....	136
Vortex Bladeless. Aerogeneradores sin aspas: .....	138
Ventajas del uso de Vortex Bladeless: .....	142
Importancia del estudio de los vientos en la sostenibilidad: .....	144
Energía Eólica: .....	144
Ventajas del uso de la energía eólica para la generación de electricidad: ....	145
Factores que determinan la ubicación de las turbinas de viento: .....	148
Impactos generados por el uso de la energía eólica: .....	150
El árbol del viento: .....	151
Ventajas del uso de arboles del viento: .....	152
Importancia de la temperatura en el estudio en la sostenibilidad: .....	152
Jardines verticales para reducir el consumo energético en edificios: .....	152
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>156</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CONTENIDO

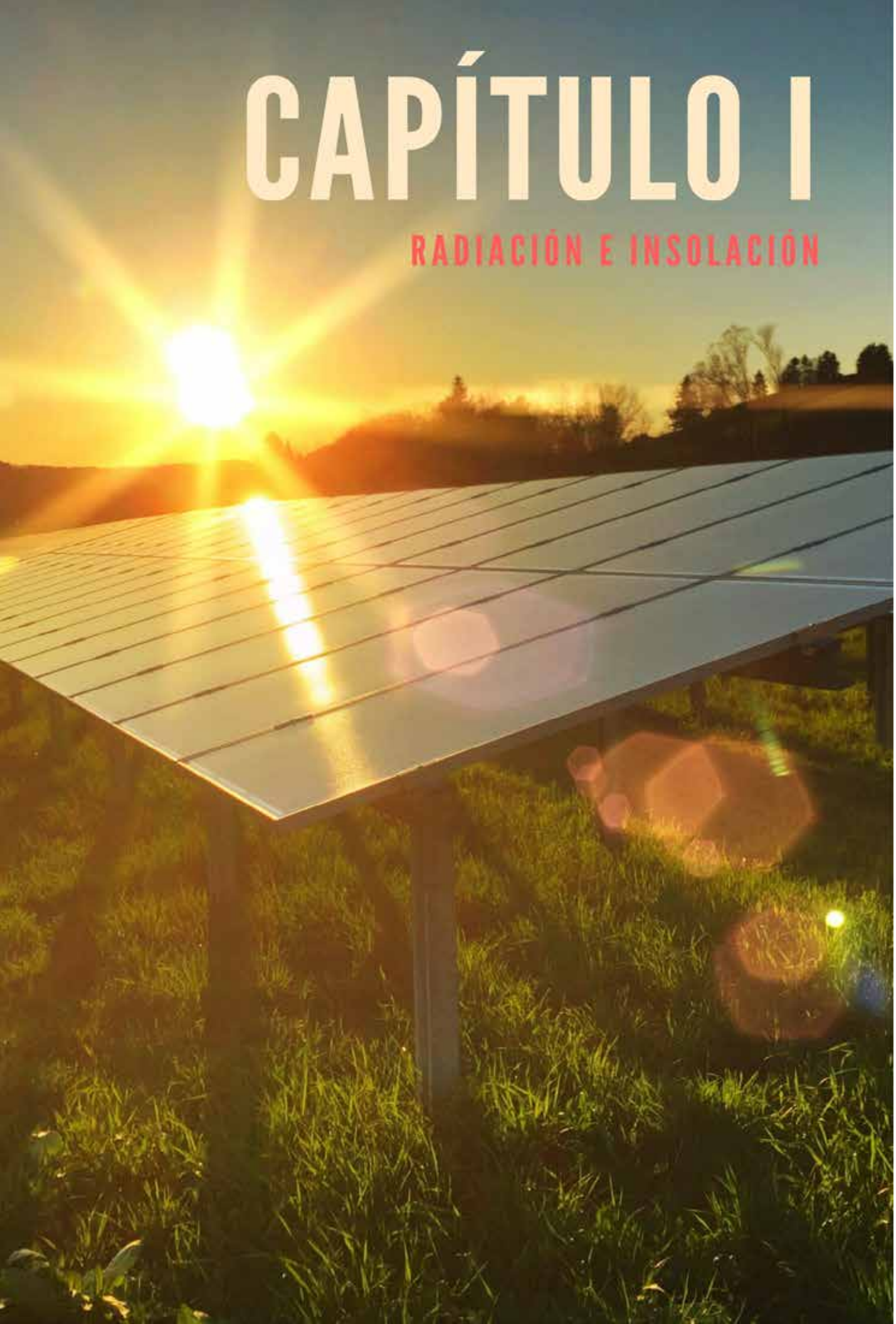
FIGURA	PP
Figura 1. Balance radiativo del sistema atmosfera – tierra. ....	3
Figura 2. Albedo promedio de la nieve y el desierto. ....	4
Figura 3. Valores de albedo para diferentes superficies.Grassi(1993).....	7
Figura 4. Tipos de radiación solar.....	7
Figura 11. Movimiento aparente del sol en función de la hora del día y la época del año. ....	9
Figura 5. Piranómetro de la luz solar DELTA-T SPN.....	10
Figura 12. Heliógrafo Campbell-Stokes y bandas para distintas épocas del año.....	25
Figura 6. Bloque de cañamo y de arcilla aligerada. Elevados aislantes térmicos. ....	28
Figura 7. Principio fundamental de la inercia térmica. ....	28
Figura 8. Losa maciza de hormigón con aislante térmico.....	29
Figura 9. Interfaz gráfica del módulo “base de datos de radiación” CENSOL5.....	31
Figura 10. Mapa de irradiación solar de Venezuela. Año: 2012.....	42
Figura 13. Zona de Convergencia Intertropical. ....	60
Figura 14. Células de Hadley. ....	61
Figura 15. Escala de Beaufort. Año: 1805. ....	63
Figura 16. Anemómetro o anemógrafo de copa.....	66
<b>Figura 17. Veleta de estación Meteorológica.</b> .....	67
Figura 18. Principales vibraciones aeroelásticas en cables de puentes. Año: 2008....	69
Figura 19. Amortiguadores en los cables en el puente atirantado de Mannheim (Alemania). ....	70
Figura 20. Evolución de la frecuencia de desprendimiento de torbellinos. ....	74
Figura 21. Forma de las vibraciones del puente sobre el embalse de Alcántara.....	75
Figura 22. Inestabilidades aeroelásticas.....	76
Figura 23. Uso del software SCE Vientos. ....	78
Figura 24. Tabla 16-G del Código de Construcción Uniforme.....	83
Figura 25. Tabla 16-K del Código de Construcción Uniforme.....	84
Figura 26. Termómetro de mercurio. ....	98

Figura 27. Termómetro de máximo y mínimo de mercurio con tejadillo.....	99
Figura 28. Tabla con fórmulas de conversión de temperatura.....	101
Figura 29. Variación de presión atmosférica. ....	108
Figura 30. Perfil vertical de la presión atmosférica. ....	109
Figura 31. Barómetro de Torricelli. ....	110
Figura 32. Barómetro aneroide. ....	111
Figura 33. Tabla de conversión.....	112
Figura 34. Área de estudio, Venezuela. Año: 2017. ....	113
Figura 35. Desvíos horarios de la marea atmosférica de Venezuela (2001-2014)....	114
Figura 36. Presión media para diversas altitudes de Venezuela (2001-2014). ....	115
Figura 37. Ejemplo de salida del software BAROGRAF, Versión 3 creado con Lab/VIEW.....	117
Figura 38. Ejemplo de salida básica por pantalla del dato de presión atmosférica...	117
Figura 39. Esquema del funcionamiento de la energía solar fotovoltaica. ....	127
Figura 40. Relación de los objetivos del desarrollo sostenible según la ONU con el uso de la energía solar fotovoltaica.....	130
Figura 41. Indicador de emisiones de CO2, período 2006 – 2015. Año: 2016.....	131
Figura 42. Indicadores de disminución de consumo de petróleo y carbón. Año: 2017. ....	132
Figura 43. Estadio solar de Fútbol Kaouhsiung (Taiwán). ....	133
Figura 44. Arco Solar de Sanyo, Tokio (Japón). ....	134
Figura 45. Edificios de Oficinas Sostenibles - Acciona, Navarra (España).....	134
Figura 55. BouyantAirborne Turbine o BAT.....	150



# CAPÍTULO I

RADIACIÓN E INSOLACIÓN



---

La radiación es la magnitud que describe la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética por parte del Sol, la superficie terrestre, suelos, océanos absorben esta energía así como la atmosfera y la reirradian en forma de calor en todas las direcciones, gracias a esta variable meteorológica, se puede determinar la cantidad de calor que se recibe del sol en la superficie terrestre.

El paso de la radiación solar a través de la atmosfera genera una atenuación, debido a procesos de absorción y difusión que provocan los gases y partículas de la atmósfera al igual que las nubes. Cuando un objeto radia la misma cantidad de energía que la que absorbe, mantiene su temperatura constante y a esto se le denomina equilibrio radiativo.

Es importante destacar que existen varios tipos de radiación solar, los cuales son: radiación directa, difusa, de albedo o reflejada, así como también la radiación global.

Por otra parte, también se puede mencionar que la insolación es la cantidad de energía solar en forma de radiación solar, que en un día específico llega a un lugar concreto de nuestro planeta, lo que recibe el nombre de insolación diurna; o en el lapso de un año, lo que se denomina insolación anual. Su unidad de medida es el Watts-hora por metro cuadrado (Wh/m<sup>2</sup>).

Los instrumentos para medir la radiación es el Piranómetro y para medir la insolación es el Heliógrafo.

“La fuente de nuestra riqueza se da en la radiación del sol, que emana energía. El sol da siempre sin esperar recibir.”

*Georges Bataille.*

## CAPÍTULO I

### **Radiación**

#### **Descripción:**

Es un fenómeno físico que corresponde a la magnitud que describe la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética por parte del Sol, de igual forma es importante destacar que la superficie de la tierra, suelos y océanos al igual que la atmósfera, absorben esta energía y la reirradian en forma de calor en todas las direcciones, por lo que considerando esto, gracias al análisis de esta importante variable meteorológica, se puede llegar a determinar, la cantidad de “calor”, que se puede recibir del sol en la superficie terrestre, la cual, actualmente, se ha visto alterada, debido al cambio climático y la retención de gases de efecto invernadero. Sin embargo la emisión de energía generada por el Sol, no alcanza la superficie terrestre de modo constante, su cantidad varía durante el día, de estación a estación y depende de la nubosidad, del ángulo de incidencia y de la reflectancia de las superficies.

Por otra parte, el paso de la radiación solar a través de la atmósfera, se ve afectado de manera tal que, se genera una atenuación, esto es debido a procesos de absorción y difusión que provocan los gases y partículas de la atmósfera al igual que las nubes, además de todo lo mencionado el sistema tierra – atmósfera se producen una serie de procesos, en los que además de absorber, se emite y refleja energía, de modo tal que el balance final entre la radiación que llega al tope de la atmósfera procedente del Sol y la que sale al espacio exterior, es igual a cero, por lo que, todo esto se traduce a que la temperatura anual promedio, se mantiene constante, ya que si un objeto radia la misma cantidad de energía que la que absorbe, mantiene su temperatura constante, a esto se le conoce como equilibrio radiativo. Sumado a lo expuesto la atmósfera juega un importante papel en el aprovechamiento de esta forma de energía, ya que es capaz de mantenerla sobre la superficie terrestre permitiendo que se mantenga un nivel de temperatura. (Ver figura 1).

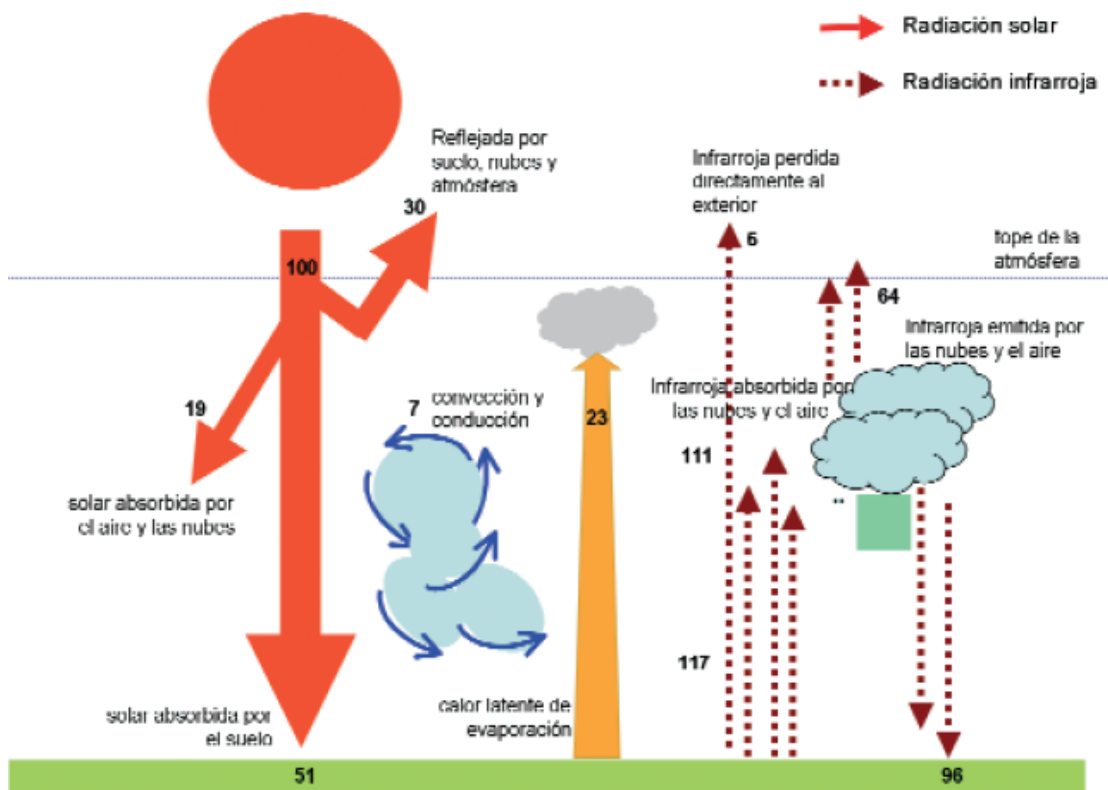


Figura 10. Balance radiativo del sistema atmósfera – tierra.

Fuente: Meteorología y Climatología - Unidad didáctica. Autores: Rosa Rodríguez y Águeda Capa. 2004.

Si bien es cierto, cuando la radiación solar entra en la Tierra, la mayoría de ella es absorbida por la superficie terrestre, poca parte de la radiación incidente, llega ser absorbida por las nubes y el aire. El resto de la radiación es reflejada por la superficie, los gases, las nubes y es devuelta al espacio exterior, sin embargo, uno de los componentes atmosféricos relacionados con la absorción de estas radiaciones, especialmente en el espectro ultravioleta, es el ozono. Es importante hablar de que la cantidad de radiación que es reflejada por un cuerpo, respecto a la radiación incidente, se le conoce como albedo, en donde, en el sistema tierra - atmósfera se posee un albedo promedio del 30%, para la nieve recién caída o algunos cumulonimbos de gran desarrollo vertical, presentan un albedo cercano al 90%,

mientras que los desiertos tienen cerca del 25% y los océanos alrededor de un 10%, es decir, que absorben casi toda la radiación que les llega (Ver figura 2). Teniendo en consideración lo mencionado, es importante indicar que el suministro de energía anual media proporcionado por el Sol, sobre cada metro cuadrado, equivale al contenido energético de 100 litros de petróleo en las latitudes medias y hasta 230 litros de petróleo en las zonas desérticas.

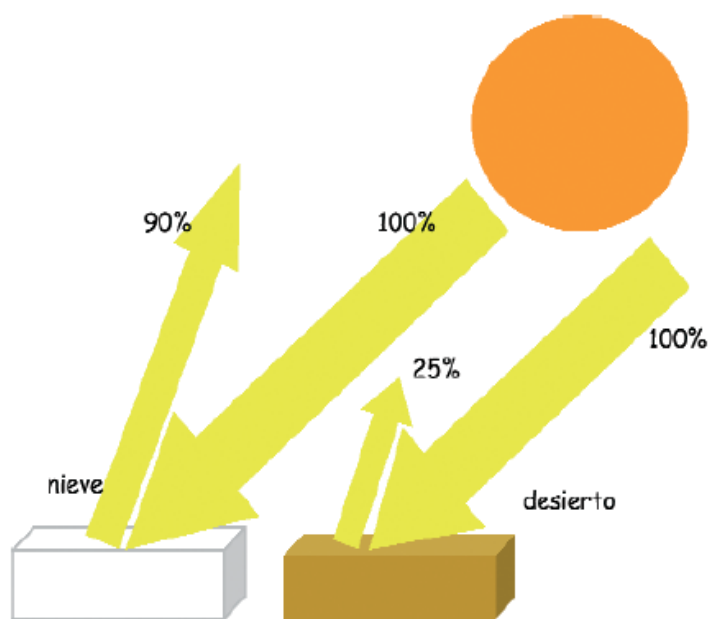


Figura 11. Albedo promedio de la nieve y el desierto.

Fuente: Meteorología y Climatología - Unidad didáctica. Autores: Rosa Rodríguez y Águeda Capa. 2004.

Al hablar de cómo la radiación puede ser cuantificada, es decir, como esta puede ser medida, hay que indicar que esta variable meteorológica se expresa en unidades de irradiancia, una unidad que refleja su potencia por unidad de superficie. Además de lo indicado, la irradiancia que hay en la cima de la atmósfera, en dirección perpendicular a los rayos solares, posee un valor medio de 1.367watts por metro cuadrado  $W/m^2$ , este valor se denomina como constante solar ( $G_{sc}$ ) con una incertidumbre del 1% (valor adoptado por el WorldRadiation Center), debido a que

se mantiene prácticamente invariable durante decenas o centenares de años, ya que, al ser dependiente de factores astronómicos o astrofísicos, su variación ocurre con gran lentitud. La irradiancia solar incidente en el suelo no suele superar los 1.000 W/m<sup>2</sup>, valor la cual depende de factores, tales como, el lugar, la hora, del día, época del año, entre otros.



Con todo esto, es conveniente analizar que el ciclo hidrológico, se basa en el permanente movimiento o transferencia de las masas de agua de un punto a otro, entre sus diferentes estados (líquidos, gaseosos y sólidos), donde se encuentra en constante movimiento debido a dos causas: La energía solar y la gravedad. Por lo que, al hablar de radiación se debe de indicar que es considerada como uno de los factores ambientales que regulan la evaporación, donde a mayor temperatura del aire, existirá una mayor demanda atmosférica, mayor energía cinética molecular y una mayor generación de evaporación, es por ello que con esto último mencionado, hay que destacar que esta variable meteorológica incide sobre el ciclo hidrológico, mediante su acción sobre los grandes cuerpos de agua, como lo son los océanos, mares y lagos donde la acción de la radiación solar sobre este elemento vital, favorece que continuamente se produzca vapor de agua.

### **Tipos de radiación solar:**

En función de cómo reciben la radiación solar los objetos situados en la superficie terrestre, se pueden distinguir estos tipos de radiación:

- **Radiación directa:** Es aquella que llega directamente del Sol sin cambio alguno en su dirección, esta existe únicamente cuando el sol es visible. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan. Siendo así de manera hipotética, si no existiese aire, evidentemente toda la radiación sería directa y al mirar hacia el cielo, a un lugar diferente al ocupado por el Sol, nuestro ojo no recibiría radiación alguna, además de que el cielo se observaría de color negro. (Ver figura 4).



- **Radiación difusa:** En este tipo de radiación solar, se tiene que parte de ella, la cual atraviesa la atmósfera, es reflejada por las nubes o absorbida por ellas, teniendo en consideración que, difunden la radiación solar más fuerte que el aire seco, por lo que en un día nublado, toda la radiación que podemos obtener, será radiación difusa. La radiación difusa, va en todas las direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, entre otros. Es por ello, que este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna, respecto a los objetos opacos interpuestos. Se debe destacar que, las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que ven toda la bóveda celeste, mientras que las verticales reciben menos, debido a que sólo ven la mitad de esta. (Ver figura 4).

- **Radiación de albedo o reflejada:** Es aquella procedente del suelo, debido a que la radiación incidente es reflejada por la superficie terrestre (Ver figura 4). La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo, cuyo valor es dependiente de la superficie sobre la cual se refleja, por ejemplo, se tiene que el albedo en la nieve es de 0,9, mientras que el del mar tendrá un valor de 0,1, en el suelo desnudo puede variar entre 0,15 a 0,25. (Ver figura 3).



Por otra parte, hay que indicar que únicamente las superficies verticales, es decir, aquellas perpendiculares a la superficie terrestre, son las que reciben esta radiación. Se debe indicar que, en los cálculos de dimensionamiento de los sistemas solares fotovoltaicos, a menudo es oportuno considerar la cantidad de radiación solar reflejada por las superficies contiguas a los módulos fotovoltaicos (albedo).

Cobertura	Albedo	Cobertura	Albedo
Agua	0,05	Suelo oscuro	0,05 - 0,16
Concreto	0,40	Suelo claro	0,20 - 0,43
Naranjas	0,17	Suelo húmedo	0,10
Barbecho	0,08 - 0,10	Papa	0,20 - 0,25
Cultivos hortícolas comunes	0,24 - 0,28	Caña de azúcar	0,05 - 0,18 y
		Gramíneas y pastos	0,15 - 0,25

Figura 12. Valores de albedo para diferentes superficies.Grassi(1993).

Fuente: <https://es.scribd.com/doc/27352481/Guia-Meteorologia-Con-Ejercicios-Resueltos>.



- **Radiación global:** Es la radiación que un metro cuadrado de una superficie horizontal recibe y es el resultado de la suma de las tres radiaciones explicadas con anterioridad. En un día despejado, con cielo limpio, la radiación directa es preponderante sobre la radiación difusa. Por el contrario, en un día nublado no existe radiación directa y la totalidad de la radiación que incide es difusa. (Ver figura 4).

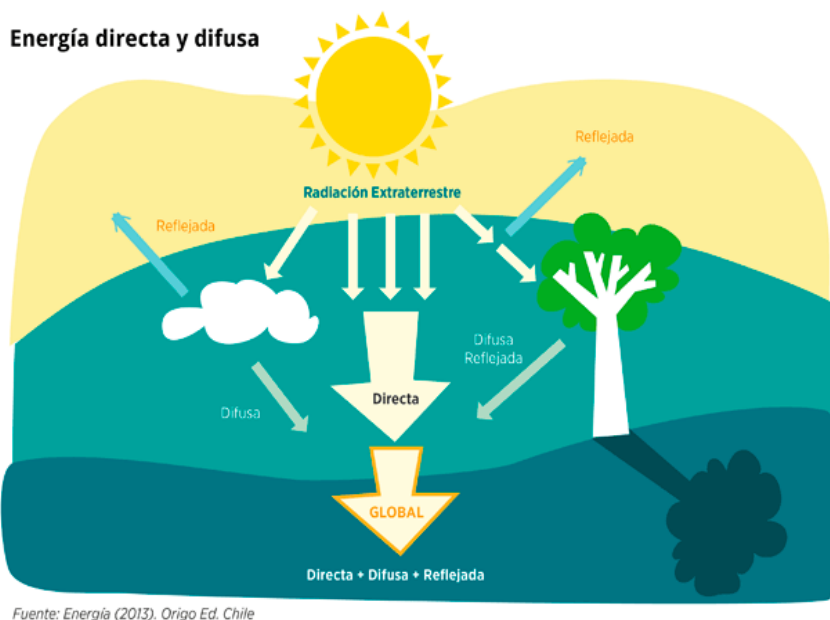


Figura 13. Tipos de radiación solar.

**Insolación:****Definición:**

Según la Organización Mundial de Meteorología (OMM) la insolación es la suma de intervalos de tiempo (en horas) durante los cuales la radiación solar directa (normal al sol) supera el umbral de  $120 \text{ W/m}^2$ .

También se puede definir la insolación como la cantidad de energía solar en forma de radiación solar, que en un día específico llega a un lugar concreto de nuestro planeta, lo que recibe el nombre de insolación diurna; o en el lapso de un año, lo que se denomina insolación anual. Su unidad de medida es el Watts-hora por metro cuadrado ( $\text{Wh/m}^2$ ). La insolación también se expresa en términos de horas solares pico.

La insolación es un parámetro muy importante en el diseño de sistemas solares. Los factores climáticos y el ángulo de posicionamiento del panel con respecto al sol afectan en demasía la insolación sobre la superficie de captación. En zonas de poco sol, ya sea por nubes, neblina u otro factor, la insolación promedio en un periodo de tiempo es menor. En días de invierno los niveles de insolación promedio son considerablemente menores en comparación a los días de verano, esto se da para lugares cuya latitud sea mayor a los  $15^\circ$ .

Debido a que la insolación depende del ángulo del panel con respecto a la posición del sol, se usa la insolación horizontal para referirse al potencial solar del lugar. A partir de la insolación horizontal se puede estimar la insolación a un azimut y elevación determinado. La insolación será máxima cuando el panel se encuentre en posición horizontal frente al sol. Para conseguir esto sería necesario ajustar el ángulo de azimut para seguir el movimiento diario del sol de este a oeste y el ángulo de elevación para seguir el movimiento anual de la trayectoria solar en la dirección norte-sur. (Ver figura 11).

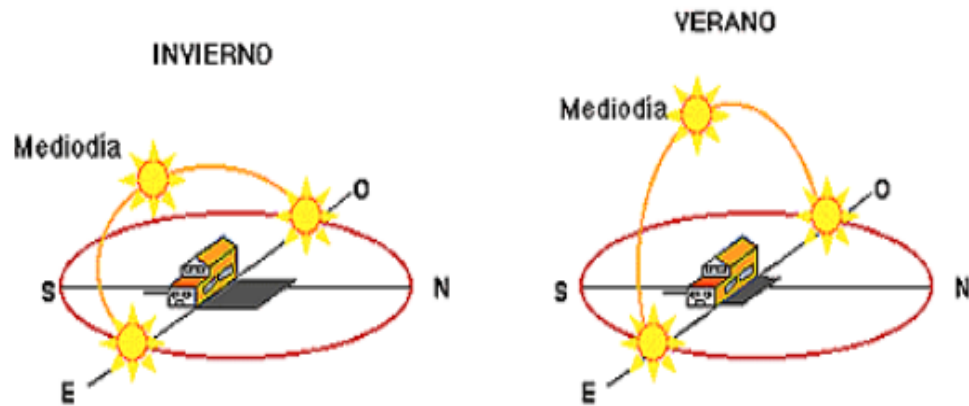


Figura 14. Movimiento aparente del sol en función de la hora del día y la época del año.

Es necesario indicar que la radiación e insolación, son intercambiables y ambas se refieren a la cantidad de energía solar que llega a una superficie durante un periodo de tiempo. Anexado a ello las unidades en la cual esta se puede presentar son en  $\text{kJ/m}^2/\text{h}$  o  $\text{MJ/m}^2/\text{h}$ , por lo cual es evidente que ambas variables meteorológicas se encuentran muy relacionadas entre sí.

### **Medición de la radiación e insolación:**

- **Piranómetro:**

También conocido como solarímetro o actinómetro, su función es medir la radiación solar que se recibe en un punto determinado, se hace uso del piranómetro, el cual consiste en un sensor encerrado en un hemisferio transparente que mide la densidad del flujo de radiación solar en un campo de 180 grados. Ahora bien, las bandas negras del sensor (termopila) absorben la radiación solar que se transforma en calor. Este calor fluye atravesando los sensores hacia el cuerpo del piranómetro, proporcionando una señal eléctrica proporcional a la radiación incidente. Por otra parte los piranómetros que llevan acoplado un dispositivo capaz de registrar, gráfica o digitalmente, la radiación solar incidente, se denominan piranógrafos o actinógrafos (Ver figura 5).

Generalmente se utilizan tres medidas de radiación: semiesférica total, difusa y directa. Para las medidas de radiación difusa y semiesférica la radiación directa se suprime utilizando un disco parasol. El principio físico utilizado generalmente en la medida es un termopar sobre el que incide la radiación a través de dos cúpulas semiesféricas de vidrio. Las medidas de este instrumento se expresan en  $\text{kW/m}^2$ .

Hay que indicar que, para que este instrumento funcione correctamente, requiere de determinadas condiciones de instalación, tales como que debe encontrarse sobre una superficie plana, tener un campo de visión de  $180^\circ$  y recibir la luz solar cuando el sol está en determinadas posiciones, ya que si ésta llega al aparato con una inclinación de  $90^\circ$  (cuando el sol está en el horizonte), no se puede efectuar la lectura, puesto que la respuesta será nula. Es posible realizar las mediciones desde el  $0^\circ$  (cuando el Sol incide perpendicularmente sobre el sensor) hasta aproximadamente los  $60^\circ$  de inclinación, sin embargo, cuando el sol se encuentra en el zenit, es cuando se logrará mayor exactitud, en la medida en cuestión.



Figura 15. Piranómetro de la luz solar DELTA-T SPN

· **Heliógrafo:**

Es un dispositivo meteorológico que permite medir la intensidad lumínica solar, la duración de la insolación diaria y la posición del sol, en un lugar y momento determinado. Está formado por una esfera de vidrio macizo de unos 10 cm de diámetro que se encuentra orientada hacia el sur geográfico, que a modo de lente, concentra toda la radiación recibida en un punto incandescente, a medida que el astro hace su ruta diaria por el cielo, este punto de luz va recorriendo una banda o cartulina fijada en un marco metálico paralelo a vidrio, en semicírculo detrás de la bola. La concentración del foco luminoso y calórico va trazando por carbonización una línea oscura más o menos atenuada, según la intensidad de los rayos solares, de manera que, al final del día, ha trazado una huella con la ruta del Sol (Ver figura 12).

Se debe de indicar que esta mencionada huella sirve para calcular las horas de Sol que ha tenido el día. Es necesario decir que se dispone de tres tipos de cartulina: uno recto y dos curvos, cada una para un periodo diferente. Todas ellas tienen unas bandas con las horas marcadas y una línea central que divide la tira de cartulina en norte y sur.

Por otro lado que en lo que respecta a la funcionalidad de este instrumento de medición, se tiene que además de su función principal, este puede registrar la hora a la que el Sol ha tomado el cielo y a la que se ha ocultado, su posición, su intensidad y los momentos en los que las nubes lo han tapado, todos estos datos tienen muchas utilidades, además de conocer la hora a la que saldrá el sol basándose en la del día anterior.

Ahora bien, para lograr un óptimo funcionamiento del heliógrafo, se suele colocar sobre un pilar de mampostería a una altura correspondiente de 1,30 m del suelo sin obstáculos que oculten el sol, considerando una instalación ideal aquella que permite una buena visibilidad por encima del horizonte en todas las épocas del año desde la salida hasta la puesta del Sol. Además de lo mencionado se debe ~~de~~ ajustar para la latitud geográfica del lugar en donde se encontrará.

Siguiendo el mismo orden de ideas, por lo general estos aparatos se fabrican para un pequeño número de latitudes típicas y dejan margen a la afinación final por medio de un dispositivo de latitud variable. Así como ha de ajustarse la latitud, también debe hacerse lo mismo en cuanto a la longitud geográfica, de no ser así, las marcas o quemaduras que presenten las bandas no estarán paralelas a la línea central de las mismas, con lo que se corre el riesgo de perder los datos que puede recopilar este instrumento. Si bien es cierto, el Sol va variando en altura en el curso del año, trayendo como consecuencia sobre el heliógrafo que su foco se vaya desplazando, por lo que el marco metálico provisto de ranuras - guías y concéntrico con la bola de vidrio, que sostiene la banda graduada.

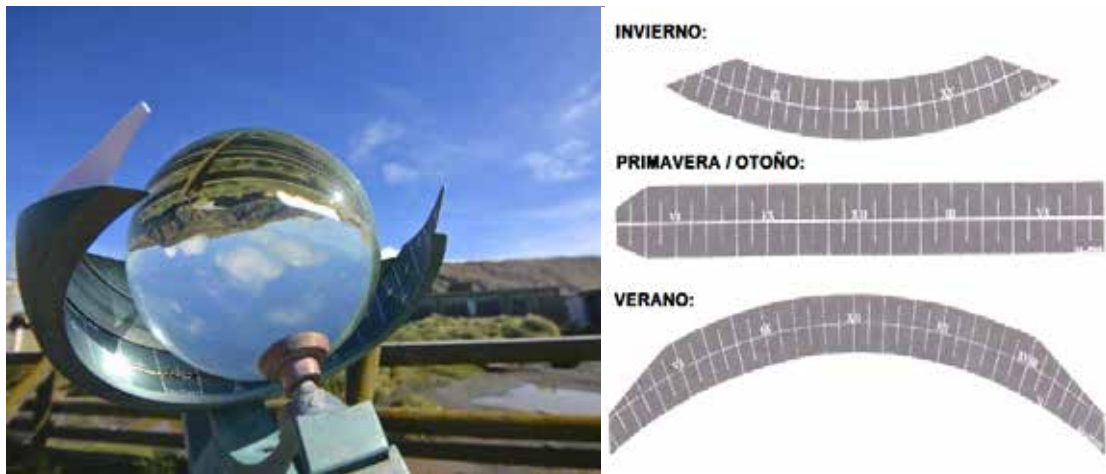


Figura 16. Heliógrafo Campbell-Stokes y bandas para distintas épocas del año.

#### **Aplicabilidad en la Ingeniería Civil:**

Actualmente, la medición de la radiación solar, es realmente necesaria en diversos campos de aplicación, como en la climatología, meteorología, hidrología, previsión de la contaminación, energía solar, agricultura, ensayo de materiales, entre otros.

Por otra parte, los mapas de insolación son importantes para prever el comportamiento de los incendios forestales y para tomar decisiones con respecto a los mejores métodos de extinción de incendios. Para la ingeniería civil y el planeamiento urbano, la insolación puede ser una entrada importante para los modelos de adecuación que se utilizan para determinar los sitios óptimos. Por ejemplo, si se desea saber qué ubicación tendrá la cantidad máxima de exposición solar durante la estación de crecimiento (de abril a octubre) en un viñedo, se selecciona un sitio potencial.

**Disposición de las superficies de cristal con respecto al sol:**

En lo que respecta a la construcción, se tiene que cuando un edificio posee grandes superficies de cristal y estas se encuentran dispuestas hacia el Oeste, es debido a que por las tardes se contará con una carga térmica fuerte en la zona. Ahora bien, si el acristalamiento se encuentra hacia el Norte, prácticamente la estructura no recibirá sol alguno y esto depende significativamente de la latitud donde se localice y además de ello, existirá una pérdida grande de calor en el interior del edificio, cumpliéndose esta condición en aquellos países donde el invierno exista. Por otro lado, si se dispone el acristalamiento hacia el Sur, entonces esto será debido a que se tendrá sol durante todo el día y la carga térmica en invierno será grande.

DISPOSICIÓN DE SUPERFICIES DE CRISTAL CON RESPECTO AL SOL	
ORIENTACIÓN	DESCRIPCIÓN
<p>Oeste</p> <p>Norte</p> <p>Sur</p>	<p>Por las tardes se contará con una carga térmica fuerte en la zona.</p> <p>La estructura no recibirá sol alguno, depende de la latitud donde se localice. Existirá una pérdida grande de calor en el interior del edificio, cumpliéndose esta condición en aquellos países donde el invierno exista.</p> <p>Se tendrá sol durante todo el día y la carga térmica en invierno será grande.</p>

Siguiendo el mismo orden de ideas, la inclinación de las superficies es muy importante, porque al recibir los rayos solares de manera perpendicular sobre ellas, es cuando se posee una mayor ganancia de calor, tener esta condición en verano no es muy conveniente, sobre todo cuando se quiere una temperatura fresca en el interior, pero en invierno si es conveniente tener expuestas las techumbres al mayor tiempo posible con respecto al Sol, en donde la inclinación de la techumbre deberá ser la misma que la latitud Norte y con una orientación hacia el Sur, con esto se logra la captación horaria máxima solar por la azotea.

En lo que respecta a los materiales constructivos, siempre se recomienda que durante la selección de estos, tomar en cuenta la accesibilidad y además de considerar especialmente, el uso de aquellos materiales con los que con anterioridad, ya se hayan trabajado, siendo así, que al considerar la radiación solar, por ejemplo se puede hacer uso, según sea el caso, de buenos aislantes térmicos, esto por lo general son de baja densidad y con cámaras de aire.

Anexado a lo anteriormente planteado, el principal paso para la concepción de la construcción, desde el punto de vista energético, está en el diseño. Se debe de diseñar teniendo en consideración que el material a emplear en sus paredes y cubiertas sea el adecuado (Ver figura 6). Si bien es cierto, la gran mayoría de las construcciones, se comportan como pequeños captadores y almacenadores de energía solar, que si no se toman ciertas consideraciones, pueden impedir que sus ocupantes se encuentren en bienestar, debido a que posiblemente, dentro de ellas se perciba un excesivo calor, que traen como consecuencia un descontrol en el equilibrio metabólico del cuerpo humano, por lo que se busca lograr que en el interior de la construcción, exista un ambiente adecuado y de confort para sus ocupantes, de manera tal que aunque el exterior sea inconfortable las condiciones climáticas, internamente sean favorables al cuerpo humano.



Figura 17. Bloque de cáñamo y de arcilla aligerada. Elevados aislantes térmicos.

Es importante hacer mención que para los diseñadores y constructores existe una gran responsabilidad, si se presenta esta falta de bienestar, en donde, para responder a ello y evitarse, se debe resaltar el valor del manejo de la radiación solar como parámetro principal de diseño y construcción en los climas ecuatoriales. Sin embargo los otros parámetros a considerar, como lo sería la humedad, temperatura, movimiento del aire y otros estarán influenciados en mayor o menor medida por el primero.

Por otra parte, se considera que la cubierta es prácticamente una orientación más de la construcción, entonces se puede decir, que esta orientación será la que mayor radiación va a recibir. Sin embargo, la diferencia entre la orientación cubierta y el resto de las orientaciones de la construcción, en lo general, es su inercia térmica.

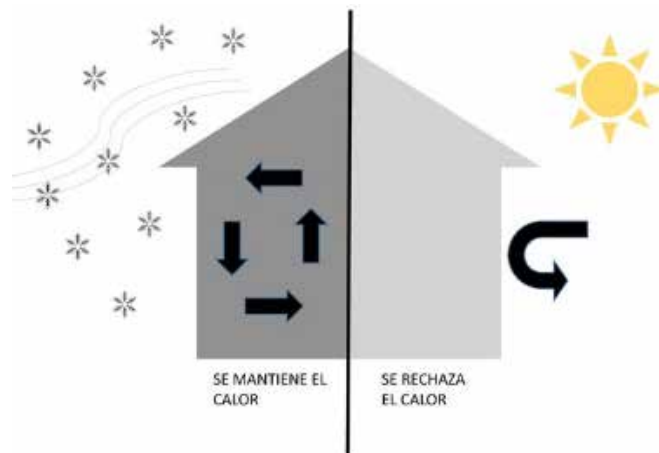


Figura 18. Principio fundamental de la inercia térmica.

La inercia térmica es la característica principal para que un material o un conjunto de materiales, definidos en una orientación, permitan captar y acumular calor, para luego transmitirlo hacia el interior de la construcción (Ver figura 7). Por lo general gran parte de las cubiertas tienen inercia térmica baja, por ello la solución para este caso es la disipación inmediata de esta poca energía acumulada. Por el contrario, si la inercia térmica es elevada, como por ejemplo en una losa de hormigón, entonces el calor acumulado en su estructura interna, entre dos o tres horas, pasará al interior, convirtiéndose la losa en una fuente térmica radiactiva y por ende el calor se sentirá en el interior. Las losas deben tener un adecuado aislamiento térmico, de esta manera se convertirá la radiación directa del sol, en una radiación térmica del material aislante, que llegará a la losa, trayendo como consecuencia, el retraso del paso correspondiente del calor, hacia el interior entre seis a siete horas aproximadamente, con lo cual, se tendría un interior más confortable en todo el día. (Ver figura 8).

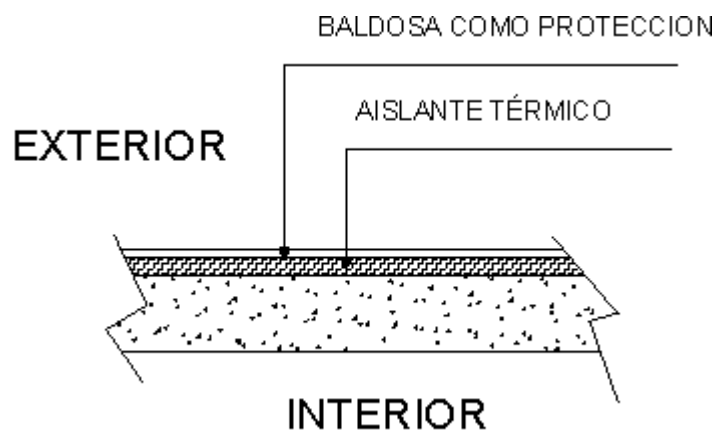


Figura 19. Losa maciza de hormigón con aislante térmico.

Por todo lo mencionado, se tiene que un buen análisis de orientación y materiales a emplear trae consigo un edificio acorde al medio físico, funcional y económico, bajo el marco de la sustentabilidad.

### **Software para determinar la radiación e insolación:**

Ya teniendo un mayor conocimiento sobre todo lo referente a esta variable meteorológica, cuya información fue expuesta con anterioridad, se tiene una herramienta o software denominado como CENSOL5, mediante su uso se pueden efectuar cálculos de la radiación solar que son de indudable valor e interés didáctico y profesional. CENSOL5 es un software de utilidad para abordar el estudio de los sistemas de aprovechamiento de la energía solar, comprender sus fundamentos, analizar su comportamiento y realizar el dimensionado básico de instalaciones; además de ello este software posee 12 módulos contenidos en el programa la cuales son: Solar fotovoltaica, Solar térmica (A.C.S.), Solar térmica (piscinas), Análisis económico, Geometría solar, Seguimiento solar, Sombras, Pérdidas por posición, Perdidas por sombreado, Soleamiento, Iluminación de la Tierra, Base de datos de radiación, con esta última se puede obtener el valor medio mensual de la radiación solar diaria incidente sobre superficie horizontal en los países de todo el mundo.

Ahora bien, el usuario contará con información fácilmente identificable, bien organizada y accesible en un único vistazo; se puede introducir modificaciones en los datos de forma rápida y cómoda, además de la actualización automática de todos los resultados afectados, lo que permite al usuario a realizar análisis exhaustivos del comportamiento del sistema (Ver figura 9).

Si bien es cierto, este software no ha sido diseñado para proporcionar datos o información de interés meramente científico, ni tampoco para ofrecer simulaciones teóricas de dudosa utilidad práctica. Su finalidad es proporcionar al aspirante a proyectista una herramienta que le permita analizar y comprender la problemática de la captación y aprovechamiento de la radiación solar, por un lado, y llevar a cabo el diseño y dimensionado general de instalaciones fototérmicas y fotovoltaicas. Todo ello dentro de un entorno de trabajo amigable, atractivo y cómodo, que no requiere un entrenamiento especial, ni el manejo de manuales de ayuda al usuario.

ALEMANIA	FINLANDIA	MOZAMBIQUE	CIUDAD REAL (+39,0°)
ANGOLA	FRANCIA	NAMIBIA	CORDOBA (+37,9°)
ANTARTIDA	GHANA	NICARAGUA	CUENCA (+40,1°)
ARGELIA	GRAN CAIMAN	NIGERIA	GERONA (+42,0°)
ARGENTINA	GRANADA	NUEVA ZELANDA	GRANADA (+37,2°)
ARTICO	GRECIA	PAKISTAN	GUADALAJARA (+40,6°)
AUSTRALIA	GUATEMALA	PANAMA	GUIPUZCOA (+43,3°)
AUSTRIA	GUINEA	PARAGUAY	HUELVA (+37,3°)
AZORES	GUINEA PORTUGUESA	PERU	HUESCA (+42,1°)
BARBADOS	GUYANA	PORTUGAL	JAEN (+37,8°)
BELGICA	HAITI	REPUBLICA DOMINICANA	LA CORUÑA (+43,4°)
BELIZE	HONDURAS	REUNION	LA RIOJA (+42,5°)
BIRMANIA	HUNGRIA	RUMANIA	LAS PALMAS (+28,2°)
BOLIVIA	INDIA	RUSIA	LEON (+42,6°)
BOTSWANA	IRAN	SANTA LUCIA	LERIDA (+41,7°)
BRASIL	IRLANDIA	SANTO TOME Y PRINCIPE	LUGO (+43,0°)
BULGARIA	ISLANDIA	SENEGAL	MADRID (+40,4°)
CABO VERDE. ISLAS	ISRAEL	SINGAPUR	MALAGA (+36,7°)
CANADA	ITALIA	SOMOA AMERICANA	MELILLA (+35,3°)
CHAD	JAMAICA	SRI LANKA	MURCIA (+38,0°)
CHECOSLOVAQUIA	JAPON	SUDAFRICA	NAVARRA (+42,8°)
CHILE	JORDANIA	SUDAN	ORENSE (+42,3°)
CHINA	KENIA	SURINAM	PALENCIA (+42,0°)
COLOMBIA	KUWAIT	TAILANDIA	PONTEVEDRA (+42,4°)
CONGO	LIBANO	TAIWAN	SALAMANCA (+41,0°)
COREA	MACAO	TANZANIA	SEGOVIA (+41,0°)
COSTA RICA	MADAGASCAR	TRINIDAD-TOBAGO	SEVILLA (+37,4°)
CUBA	MADEIRA. ISLAS	TUNEZ	SORIA (+41,8°)
DOMINICA	MALASIA	TURQUIA	STA.C.TENERIFE (+28,5°)
ECUADOR	MALTA	UGANDA	TARRAGONA (+41,1°)
EGIPTO	MALVINAS. ISLAS	URUGUAY	TERUEL (+40,4°)
EL SALVADOR	MARTECOS	VENEZUELA	TOLEDO (+39,9°)
ESPAÑA	MARTINICA	VIRGENES. ISLAS	VALENCIA (+39,5°)
ESTADOS UNIDOS	MAURITANIA	ZAIRE	VALLADOLID (+41,7°)
ETIOPIA	MEXICO	ZAMBIA	VIZCAYA (+43,3°)
FDI. ISLAS	MONGOLIA	ZIMBAWE	ZAMORA (+41,5°)
FILIPINAS			ZARAGOZA (+41,7°)

© CENSOLAR, 1998 - 2004	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
MJ/m <sup>2</sup> :	07.3	10.9	14.4	19.2	22.4	24.3	24.9	23.0	17.9	12.3	08.8	06.9	16.0
kW·h/m <sup>2</sup> :	2.0	3.0	4.0	5.3	6.2	6.7	6.9	6.4	5.0	3.4	2.4	1.9	4.5

Figura 20. Interfaz gráfica del módulo “base de datos de radiación” CENSOL5.

Es importante hacer mención de que CENSOL5 hace uso intensivo de visualizaciones gráficas y en tres dimensiones totalmente interactivas, lo que resulta de gran ayuda y utilidad para examinar los aspectos básicos, tanto teóricos, como prácticos, que han de tenerse en cuenta a la hora de proyectar un sistema de aprovechamiento de la energía solar.

Finalmente una buena formación de base en materia de energía solar requiere una herramienta didáctica que permita analizar y comprender en toda su globalidad los fundamentos que rigen y caracterizan a la captación de la radiación procedente del sol. En el ejercicio de la profesión, desconocer o ignorar ciertos aspectos esenciales puede provocar errores de diseño que afecten considerablemente, en última instancia, a las prestaciones previstas del sistema de aprovechamiento energético. En consecuencia, CENSOL5 se ha provisto de una serie de módulos como se indicó con

anterioridad, que abarcan estos aspectos fundamentales de forma exhaustiva y sin limitación en el rango de variación de los datos de entrada.

### **Métodos de cálculo:**

Y **Métodos de algoritmo de cuenca visual hemisférica desarrollados por Rich et al. (Rich 1990, Rich et al. 1994) y ampliados por Fu y Rich:**

Las herramientas de análisis de radiación solar calculan la insolación en un paisaje o en ubicaciones específicas, las siguientes ecuaciones están basadas en métodos de algoritmo de cuenca visual hemisférica desarrollados por

La cantidad de radiación total calculada para una ubicación o un área en particular se proporciona como radiación global. El cálculo de la insolación directa, difusa y global se repite para la ubicación de cada entidad o para cada ubicación de la superficie topográfica, lo que genera mapas de insolación para un área geográfica completa.

### **Radiación global:**

La radiación global (**Global<sub>tot</sub>**) se calcula como la suma de la radiación directa (**Dir<sub>tot</sub>**) y difusa (**Dif<sub>tot</sub>**) de todos los sectores del mapa solar y mapa del cielo, respectivamente.

$$**Global_{tot} = Dir_{tot} + Dif_{tot}**$$

Sin embargo según la Universidad de Jaen. España. (2008), establecen que la radiación global será lo siguiente, en donde se le suma el valor correspondiente al albedo:

$$**Global_{tot} = Dir_{tot} + Dif_{tot} + Albedo**$$

**Radiación solar directa:** La insolación directa total (**Dir<sub>tot</sub>**) para una ubicación dada es la suma de la insolación directa (**Dir**) de todos los sectores del mapa solar:

$$Dir_{tot} = \sum Dir_{\theta,\alpha}$$

La insolación directa del sector del mapa solar (**Dir** ) con un centroide en los ángulos cénit ( ) y el ángulo acimutal ( ) se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Dir_{\theta,\alpha} = S_{const} * \beta^{m(\theta)} * SunDur_{\theta,\alpha} * SunGap_{\theta,\alpha} * \cos(AngIn_{\theta,\alpha})$$

**Dónde:**

**S<sub>const</sub>**: Flujo solar fuera de la atmósfera en el valor medio de la tierra, la distancia del sol, conocida como constante solar. La constante solar utilizada en el análisis es de 1.367 W/m<sup>2</sup>. Coincide con la constante solar del Centro Mundial de Radiación (WorldRadiation Centre, WRC).

Transmisividad de la atmósfera (el promedio de todas las longitudes de onda) para la ruta más corta (en dirección al cénit).

Longitud de ruta óptica relativa que se mide como una proporción en relación con la longitud de ruta del cénit.

**SunDur** : Duración de tiempo representada por el sector del cielo. Para la mayoría de los sectores, es igual al intervalo diario (por ejemplo, un mes) multiplicado por el intervalo horario (por ejemplo, media hora). Para los sectores parciales (cercanos al horizonte), la duración se calcula mediante la geometría esférica.

**SunGap** : Fracción de espacio para el sector del mapa solar.

**AngIn** : Ángulo de incidencia entre el centroide del sector del cielo y el eje normal para la superficie

Sin embargo hay que aclarar que la longitud óptica relativa, por el ángulo cénit del sol y elevación sobre el nivel del mar. Para los ángulos cénit menores que 80°, se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$m(\theta) = EXP(-0,000118 * Elev - 1,638 * 10^{-9} * Elev^2) / Cos(\theta)$$

**Dónde:**

: Ángulo cénit del Sol.

**Elev:** Elevación sobre el nivel del mar, en metros.

Se considera el efecto de la orientación de la superficie al multiplicar por el coseno del ángulo de incidencia. El ángulo de incidencia (**AngIn** ) entre la superficie interceptora y un sector de cielo determinado con un centroide en los ángulos cénit y acimutal se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$AngIn_{\theta,\alpha} = \cos^{-1}(\cos \theta * Cos(Gz) + \sin \theta * \sin(Gz) * \cos(\alpha - Ga))$$

**Donde:**

**Gz:** Ángulo cénit de la superficie. Tenga en cuenta que la refracción es importante para los ángulos cénit mayores que 80°.

**Ga:** Ángulo acimutal de la superficie.

**Radiación difusa:**

Para cada sector del cielo, se calcula la radiación difusa en su centroide (**Dif** ), se la integra al intervalo de tiempo y se la corrige con la fracción de espacio y el ángulo de incidencia mediante la siguiente ecuación:

$$Dif_{\theta,\alpha} = R_{GLB} * P_{dif} * Dur * SkyGap_{\theta,\alpha} * Weight_{\theta,\alpha} * \cos(AngIn_{\theta,\alpha})$$

**Donde:**

**Rglb:** Radiación global normal.

**Pdif:** Proporción del flujo de radiación global normal difundido. Por lo general, es aproximadamente de 0,2 para condiciones de cielo muy claro y de 0,7 para condiciones de cielo muy nublado.

**Dur:** Intervalo de tiempo para el análisis.

**SkyGap** : Fracción de espacio (proporción de cielo visible) para el sector del cielo.

**Peso** : Proporción de radiación difusa que se origina en un determinado sector del cielo relacionada con todos los sectores.

**AngIn** : Ángulo de incidencia entre el centroide del sector del cielo y la superficie interceptora.

La radiación global normal (**Rglb**) se puede calcular mediante la suma de la radiación directa de cada sector (incluidos los sectores obstruidos) sin la corrección para el ángulo de incidencia, y la posterior corrección para la proporción de radiación directa, lo que equivale a  $1 - Pdif$ :

$$RglbRglb = (S_{const} * \sum (\beta^{m(\theta)}) / (1 - Pdif)$$

Para el modelo difuso de cielo uniforme, **Peso** se calcula de la siguiente manera:

$$Weight_{\theta,\alpha} = (\cos \theta_2 - \cos \theta_1) / Div_{azi}$$

**Donde:**

$\theta_1$  y  $\theta_2$ : Ángulos cénit de delimitación del sector del cielo.

**Div<sub>azi</sub>**: Número de divisiones acimutales en el mapa del cielo.

Para el modelo de cielo cubierto estándar, **Peso** se calcula de la siguiente manera:

$$Weight_{\theta,\alpha} = (2 \cos \theta_2 + \cos 2\theta_2 - 2 \cos \theta_1 - \cos 2\theta_1) / 4 * Div_{azi}$$

La radiación solar difusa total para la ubicación **Dif<sub>tot</sub>** se calcula como la suma de la radiación solar difusa **Dif** de todos los sectores del mapa del cielo

$$Dif_{tot} = \sum Dif_{\theta,\alpha}$$

Y **Relación entre Radiación y Temperatura (Método de Stefan Boltzmann y de Wien):**

Esta relación está basada en las leyes de Stefan Boltzmann y de Wien. La ley de Boltzmann establece que la energía total emitida por un cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta, es decir:

$$E = e * \sigma * T^4$$

**Dónde:**

**E:** Energía total emitida en MJ / m<sup>2</sup>\*día (ó en cal/cm<sup>2</sup>\*min)

**e:** Coeficiente de emisión, varía entre 0 y 1.

**σ:** 4,899 x 10<sup>-9</sup> MJ / m<sup>2</sup>\*día\*K<sup>4</sup> (ó 8,26 x 10<sup>-11</sup> cal/cm<sup>2</sup>\*min\*K<sup>4</sup>).

**T:** Temperatura en grados Kelvin.

El coeficiente de emisión depende de la naturaleza del cuerpo. Para un cuerpo negro (emisor perfecto) el valor de e = 1. Otros valores son: suelos (0,95 – 0,98); grama (0,97 - 0,98); hielo (0,96). La ley de Wien expresa que la longitud de onda de máxima intensidad es inversa-mente proporcional a la temperatura absoluta del cuerpo negro que emite la radiación:

$$\lambda_{máx} = a / T$$

**Dónde:**

**x:** Longitud de onda de máxima intensidad a constante de Wein = 2897μMk.

**T:** Temperatura absoluta en Kelvin.

Las leyes mencionadas son el soporte de la relación entre radiación y temperatura que experimenta un cuerpo al calentarse, tal como lo describe Guevara

(1988). Al empezar a calentarse un cuerpo, emite primero longitudes de onda larga, las cuales son invisibles a nuestra vista pero sentidas en forma de calor. Estas radiaciones son las infrarroja o radiación a temperatura baja. Al calentar más el cuerpo, toma una coloración rojiza pálido siendo ya visible (rayos visibles), a mayor temperatura, el cuerpo tiene mayor energía calórica y emitirá radiaciones de longitud de onda cada vez más corta. Se establece la siguiente la siguiente relación:

ÿ Temperatura baja => baja energía => longitud de onda larga.

ÿ Temperatura alta => alta energía => longitud de onda corta.

#### ÿ **Métodos de cálculo de la insolación diurna:**

Para calcular la insolación, se puede asumir que no hay atmósfera o que se mide en la parte alta de ella y se denomina insolación diurna o anual no atenuada, otra forma es medir en la superficie de la Tierra teniendo en cuenta la presencia de la atmósfera, denominándose como insolación atenuada siendo más complejo calcularla.

$$I \propto K \propto \frac{K_0}{r^2}$$

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Insolaci%C3%B3n>

Para determinar la insolación diurna no atenuada tenemos la siguiente ecuación:

$$I = \frac{2 \cdot K_0}{r^2} \cdot (\cos \Phi \cdot \cos D \cdot \sin H + H \cdot \sin \phi \cdot \sin D)$$

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Insolaci%C3%B3n>

#### ÿ **Cálculo de la cantidad de paneles solares:**

Para el cálculo de paneles solares, la manera más simple de determinar el tamaño de un sistema fotovoltaico es utilizando la siguiente fórmula:

$$\mathbf{Ar = 1200 * Ed / Id}$$

En la fórmula anterior, el factor para calcular el tamaño del sistema no es 1000 es decir, una eficiencia del sistema de 10%, sino 1200 ya que la eficiencia del sistema es siempre un poco más baja que la eficiencia del panel.

**Donde:**

**Ar:** Tamaño del panel (Wp).

**Ed:** Consumo de electricidad (kWh / día).

**Id:** Irradiación (kWh /m<sup>2</sup>/día). Nivel de irradiación del lugar donde se ubica los paneles solares.

El tamaño de un sistema fotovoltaico está dado por el Watt Pico (Wp). Esta es la salida máxima de un panel solar fotovoltaico bajo condiciones estándar que son: temperatura ambiente de 25°C y 1000 W/m<sup>2</sup> de irradiación.

La fórmula supone una eficiencia del sistema de aproximadamente 8% que se basa en la eficiencia del panel (10%) y la eficiencia de la batería (80%). Otro dato que se asume es la potencia proporcional de los paneles por metro cuadrado de 100 Wp. Por otro lado durante el mediodía, en días despejados, se puede esperar una irradiación de 1000 W/m<sup>2</sup>. Esto significa que un panel de 50 Wp generará, durante las horas más soleadas del día, 50W. Es importante indicar que en promedio los panel solar fotovoltaico están en aproximadamente 100 Wp por m<sup>2</sup> o para decirlo de una manera diferente, los paneles solares tienen una eficiencia promedio del 10%.

La irradiancia puede ser calcular recurriendo a métodos gráficos, tablas, fórmulas o utilizando software que permitan obtenerla muy fácilmente. En el caso de algunos países de Sudamérica como Perú, se utilizan planos o mapas de irradiación, donde por medio de ello se puede obtener fácilmente la irradiación promedio al día a través de colores en los meses más representativos, en este caso se presenta a continuación el mapa correspondiente de irradiación de Venezuela. (Ver figura 10).

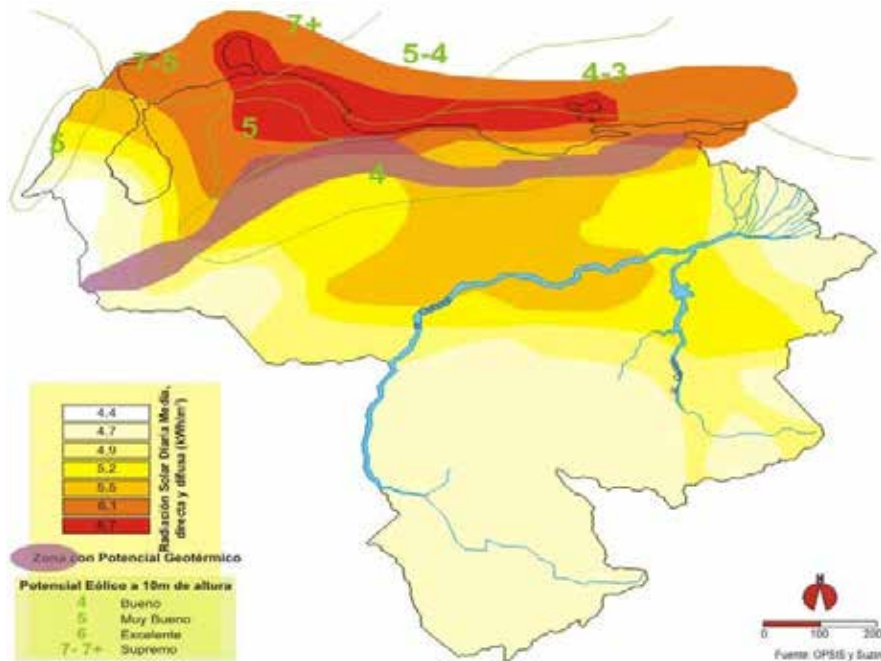


Figura 21. Mapa de irradiación solar de Venezuela. Año: 2012.

Fuente: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-5-Mapa-radiacion-solar-global-diaria-media-sobre-Venezuela-13\\_fig2\\_261249545](https://www.researchgate.net/figure/Figura-5-Mapa-radiacion-solar-global-diaria-media-sobre-Venezuela-13_fig2_261249545).

**Unidades de medición:**

TABLA RESUMEN UNIDADES	
Watt	W
Watt por metro cuadrado	W/m <sup>2</sup>
Watt hora por día	Wh/d
Kilowatt	kW
Kilowatt hora	kWh
Kilowatt hora por día	kWh / día
Kilowatt hora por metro cuadrado por día	kWh / m <sup>2</sup> / día
Watt pico	Wp
Kilowatt pico	kWp
Gigawatt – hora	GWh

### Cuadro resumen de métodos explicados:

Cuadro resumen de métodos explicados		
Método	Condiciones de aplicabilidad	Limitaciones
<b>Métodos de algoritmo de cuenca visual hemisférica desarrollados por Rich et al. (Rich 1990, Rich et al. 1994) y ampliados por Fu y Rich</b>	* Calculan la insolación en un paisaje o en ubicaciones específicas.  * Se puede determinar la radiación global, solar directa y difusa.	-
<b>Relación entre Radiación y Temperatura (Método de Stefan Boltzmann y de Wien)</b>	* La temperatura debe estar en grados Kelvin.  * Se determina la energía total emitida en MJ / m <sup>2</sup> *día.  * La ecuación depende de un coeficiente de emisión y de la naturaleza del cuerpo, por lo que se debe tener el conocimiento de esto.	-
<b>Método de cálculo de la insolación diurna</b>	* Se asume que no hay atmósfera.	-

Por otra parte, el siguiente ejemplo se muestra cómo se puede realizar un estimado sencillo del tamaño y del precio, correspondiente a paneles solares.

### Ejercicios resueltos:

#### Ejercicio N° 1:

Se tiene que realizar un cálculo de paneles solares para una vivienda unifamiliar ubicada en el estado Falcón, con 8 luces de 20 W, las cuales funcionan 5 horas al día, adicionalmente se cuenta con 4 habitaciones, en donde, cada una tendrá su iluminación correspondiente, por lo que se cuenta con 4 luces de 20W y cada uno

se usará unas 5 horas al día. Determinar la demanda de electricidad y el tamaño requerido de panel para lo solicitado.

**Resolución:**

Analizando los datos proporcionados se tiene lo siguiente para el cálculo de la demanda de electricidad:

$$8 \text{ luces} \times 20\text{W} \times 5\text{horas/día} = 800 \text{ Wh/día.}$$

$$4 \text{ luces} \times 20\text{W} \times 5\text{horas/día} = 400 \text{ Wh/día.}$$

Se procede a transformar los resultados anteriores de Wh/día a kWh/día dividiendo cada uno de ellos entre 1000 o realizando una regla de tres, considerando que 1 Wh/día = 0,001 kWh/día.

$$(800 \text{ Wh/día} \times 0,001 \text{ kWh/día}) / (1\text{Wh/día}) = 0,8 \text{ kWh/día}$$

$$(400 \text{ Wh/día} \times 0,001 \text{ kWh/día}) / (1\text{Wh/día}) = 0,4 \text{ kWh/día}$$

$$\sum 1,2 \text{ kWh/día}$$

Teniendo en consideración la ubicación dada, se verifica la radiación solar según el mapa proporcionado (Ver figura10), donde se tendrá entonces, el valor correspondiente de 6,7 kWh/m<sup>2</sup>/día.

Esto significa que para esta casa el tamaño de panel que se requiere, se determina según la siguiente ecuación:

$$A_r = (1200 \times 1,2 \text{ kWh/día}) / (6,7 \text{ kWh/m}^2/\text{día}) = 214,92 \text{ Wp} \approx 215 \text{ Wp}$$

Una vez conocida la demanda, se selecciona un módulo o panel que brinde esta potencia calculada.

**Ejercicio N° 2:**

En una comunidad se desea contar con los siguientes equipos:

- Una computadora por espacio de 3 horas diarias

- Un televisor por espacio de 4 horas diarias.
- Dos focos por espacio de 4 horas diarias.
- Un ventilador por espacio de 6 horas.
- Una bomba por espacio de 8 horas.

Además se indica que la irradiación promedio anual de la zona es **5,5 kWh/m<sup>2</sup>/día**. Determinar la demanda de electricidad, el tamaño requerido de panel y los costos referidos a ello.

**Completando el siguiente cuadro:**

EQUIPO	CANTIDAD	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	ENERGÍA (Wh/día)
COMPUTADOR A	1	100	3	300
TELEVISOR	1	125	4	500
FOCO	2	100	4	800
VENTILADOR	1	50	6	300
BOMBA	1	80	8	640
<b>TOTAL</b>				<b>2540</b>

#### **Tabla de equipos para cálculo del número de panel solar fotovoltaico.**

Cabe indicar que se puede hacer el cálculo de paneles solares en Excel, lo que resulta sencillo y puede tener listo sus fórmulas para obtener rápidamente el cálculo. Aplicando la siguiente fórmula se tiene lo siguiente:

$$Ar = 1200 \times Ed / Id$$

**Donde:**

$$Ed = 2,54 \text{ kWh/día}$$

$$Id = 5,5 \text{ kWh/m}^2\text{/día}$$

**Entonces:**

$$Ar = (1200 \times 2,54 \text{ kWh/día}) / (5,5 \text{ kWh/m}^2\text{/día}) = 609,6 \text{ Wp}$$

Luego el tamaño del panel será **609,6 W**. Como no existe un panel con tal generación de potencia, se debe seleccionar una determinada cantidad de paneles con potencias más bajas, en los cuales al ser sumados se tenga un total de **609,6 W** superior inmediato.

Price list for solar & wind-electric components summer 2000 BP Solar Modules - 20 year warranty		
	Weight (lbs)	Price
51107 BP 85 Watt PV Module BP Solar	18	610.00
51106 BP 75 Watt PV Module BP Solar	18	499.00
51104 BP 50 Watt PV Module BP Solar	12	365.00
51103 BP 40 Watt PV Module BP Solar	11	295.00
51101 BP 10 Watt PV Module BP Solar	3.5	150.00

#### Lista de precios de panel solar fotovoltaico.

**Según el catálogo de la marca Dankoff Solar Products:**

- Para el modelo 51107, con 85 Wpse tiene:

**609,6 Wp / 85 Wp = 7 módulos.**

**R:** Es decir, 7 módulos, con un costo correspondiente de **7 x 610 US\$ = 4270 US\$**

- Para el modelo 51106, con 75 Wpse tiene:

**609,6 Wp / 75 Wp = 8 módulos.**

**R:** Es decir, 8 módulos, con un costo correspondiente de **8 x 499 US\$ = 3992 US\$**

- Para el modelo 51104, con 50 Wpse tiene:

**609,6 Wp / 50 Wp = 12 módulos.**

**R:** Es decir, 12 módulos, con un costo correspondiente de **12 x 365 US\$ = 4380 US\$**

- Para el modelo 51103, con 40 Wpse tiene:

**609,6 Wp / 40 Wp = 15 módulos.**

**R:** Es decir, 15 módulos, con un costo de **15 x 295 US\$ = 4425 US\$**

- Para el modelo 51101, con 10 Wpse tiene:

**609,6 Wp / 10 Wp = 61 módulos.**

**R:** Es decir, 61 módulos, con un costo de **61 x 150 US\$ = 9150 US\$**

Entonces para el caso de este ejercicio se instalarán **8 módulos de 75 Wp** cada uno, por un costo de **3992 US\$** (solo para fines de ejemplo). Esto supone una eficiencia del sistema de aproximadamente 8% que se basa en la eficiencia del panel (10%) y la eficiencia de la batería (80%). Otro dato que se asume es la potencia proporcional de los paneles por metro cuadrado de 100 Wp.

Por otra parte, cuando otras eficiencias o salidas de potencia son válidas debe usarse la fórmula completa:

$$A_r = P_p \times E_d / (e_{\text{panel}} \times e_{\text{batería}} \times I_d)$$

**Donde:**

**Pp:** Potencia proporcionada por el panel (Wp/m<sup>2</sup>).

**epanel:** Eficiencia del panel (-).

**ebatería:** Eficiencia de la batería (-).

Esta fórmula supone una demanda de electricidad constante y radiación también constante. Por supuesto que se comete un error de esta manera porque ni el consumo de electricidad ni la radiación son las mismas durante el año. Esto significa que es casi seguro que en varios días cada año habrá una escasez de potencia. La pregunta es si esto es un problema, por ejemplo, si los sistemas se usan sólo para prender algunas luces puede ser posible apagar algunas de las luces cuando hay escasez.

La radiación dada en la fórmula es la radiación que cae sobre el panel solar fotovoltaico, esto no es lo mismo que la radiación total que cae sobre una superficie horizontal. El valor de la radiación horizontal debe corregirse con un factor de orientación e inclinación.

Si la radiación solar y la demanda de electricidad no varían mucho (en muchos de los casos) este método sencillo funciona bien, en cambio, si la radiación solar fluctúa fuertemente de estación en estación debe usarse un método diferente

En primer lugar, el ángulo de inclinación puede hacerse mayor en  $15^\circ$  a la latitud para nivelar las fluctuaciones estacionarias (esto se llama optimización de invierno). En segundo lugar la salida del sistema solar puede calcularse para cada mes en lugar de una vez. Si se hace esto, se puede tener una mejor aproximación de la demanda de electricidad. Por ejemplo, en invierno hay probablemente más necesidad de usar energía para alumbrado, pero menos para refrigeración.

Básicamente los cálculos quedan igual pero ahora se conoce en qué períodos será más difícil cubrir los requerimientos.

Depende de los requerimientos del usuario si es aceptable o no tener escasez de potencia en un mes crítico. En algunos casos sería muy costoso cubrir la demanda completa todo el tiempo, así que es el usuario quien se acomoda a cierta escasez.

Si la demanda de electricidad es crucial este método para determinar el tamaño es muy crudo. En algunos casos, por ejemplo, alumbrado de emergencia o estación de comunicaciones, un suministro confiable de potencia es absolutamente necesario. En esos casos, es necesaria una determinación detallada del tamaño y simulación del sistema completo, incluyendo el controlador, batería y uso final.

Otra posibilidad de asegurarse que el sistema sea capaz de cubrir toda la demanda eléctrica bajo toda circunstancia es sobredimensionar el sistema, obviamente esto hace al sistema muy costoso, pero cuando la confiabilidad es importante esto puede justificarse.

### **Ejercicio N° 3:**

Considere la tabla de datos adjunta, donde aparecen tabulados los datos correspondientes a la radiación directa y radiación difusa, desde la salida del sol hasta su puesta, en intervalos de media hora, para el día 27 de junio de 2018.

#### **Determine:**

1- Represente gráficamente en papel milimetrado la radiación directa y la radiación difusa y comente de qué tipo de día se trataba.

2- Calcule la radiación solar incidente. Si el albedo era 0,25, calcúlese la radiación absorbida a lo largo del día por la superficie.

TABLA PROPORCIONADA

$Dir_{tot}$ ( $W \cdot m^{-2}$ )	$Dif_{tot}$ ( $W \cdot m^{-2}$ )
1	0
11	8
75	62
157	117
138	92
287	144
377	163
473	183
559	203
668	238
711	221
783	222
838	223
880	220
922	219
937	334
558	408
903	405
952	241
915	220
874	192
813	153
739	117
648	100
554	89
461	74
358	61
257	48
156	39
39	27
11	5

Respuesta:

Dir <sub>tot</sub> (W/m <sup>2</sup> )	Dif <sub>tot</sub> (W/m <sup>2</sup> )	AcumDir <sub>tot</sub> (J/m <sup>2</sup> )
1	0	
11	8	10.800
75	62	77.400
157	117	20.8800
138	92	265.500
287	144	382.500
377	163	597.600
473	183	765.000
559	203	928.800
668	238	1.104.300
711	221	1.241.100
783	222	1.344.600
838	223	1.458.900
880	220	1.546.200
922	219	1.621.800
937	334	1.673.100
558	408	1.345.500
903	405	1.314.900
952	241	1.669.500
915	220	1.680.300
874	192	1.610.100
813	153	1.518.300
739	117	1.396.800
648	100	1.248.300
554	89	1.081.800
461	74	913.500
358	61	737.100
257	48	553.500
156	39	371.700
39	27	175.500
11	5	45.000

**28.888.200**

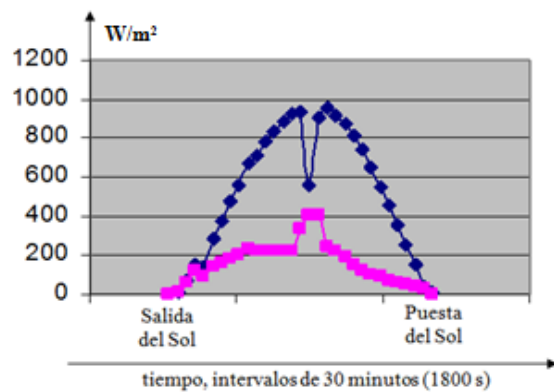
En este caso se procede a determinar la radiación directa total acumulada, teniendo en cuenta los intervalos de media hora o 30 minutos, los cuales, serian igual a 1800 segundos, mediante el siguiente cálculo:

$$S = \left( \frac{Dir_{tot}(i+1) + Dir_{tot}(i)}{2} \right) * 1800seg$$

$$S = \left( \frac{11 W/m^2 + 1 W/m^2}{2} \right) * 1800seg$$

$$S = 10.800 J/m^2$$

Una vez ya calculado todos los valores correspondientes a la radiación directa acumulada y la sumatoria de las mismas, se procede a realizar la representación gráfica.



Se tiene un día parcialmente nuboso, con incidencia especialmente acusada a mediodía solar, y menos nuboso por la tarde. Véase que la

radiación difusa antes del mediodía solar va creciendo, no forma la típica meseta plana de un día totalmente despejado; esto indica la presencia de cobertura nubosa, aunque no demasiado espesa. A mediodía aproximadamente la nubosidad se desarrolló bastante más como indica la brusca caída de la radiación directa y la importante subida de la radiación difusa, aunque en poco tiempo esta nubosidad desapareció, dando paso a una situación similar a la de la mañana, aunque seguramente con menos nubosidad total, ya que la bajada de la radiación difusa es más pronunciada.

Por otra parte, si se considera un albedo de 0,25 para el cálculo de la radiación absorbida a lo largo del día por la superficie, se tiene lo siguiente:

$$Rrs = \alpha * Acum Dir_{tot} = 0,25 * 28.888.200 = 7.222.050 MJ/m^2 * día$$

Radiación absorbida a lo largo del día por la superficie:

$$Rns = Acum Dir_{tot} - Rrs = 21.666.150 MJ/m^2 * día$$

Ahora bien, ya conociendo la anterior variable meteorológica se tiene entonces que la cantidad de radiación solar recibida en una hora y un lugar específicos del sistema Tierra - atmósfera se llama insolación.

#### **Ejercicio N° 4:**

¿Cuál es el total de energía irradiada por un cuerpo que se encuentra a una temperatura de 255 K? Considere que el coeficiente de emisión del cuerpo es igual a 1 (cuerpo negro).

Utilizando la ley de Boltzmann tenemos la siguiente expresión:

$$E = 1 \times 4,903 \times 10^{-9} \times (255)^4 = 20,73 MJ m^{-2} día^{-1}$$

#### **Ejercicio N° 5:**

Determinar la longitud máxima de radiación emitida por el sol (temperatura promedio alrededor de 5000 K) y la tierra (temperatura promedio = 293 K).

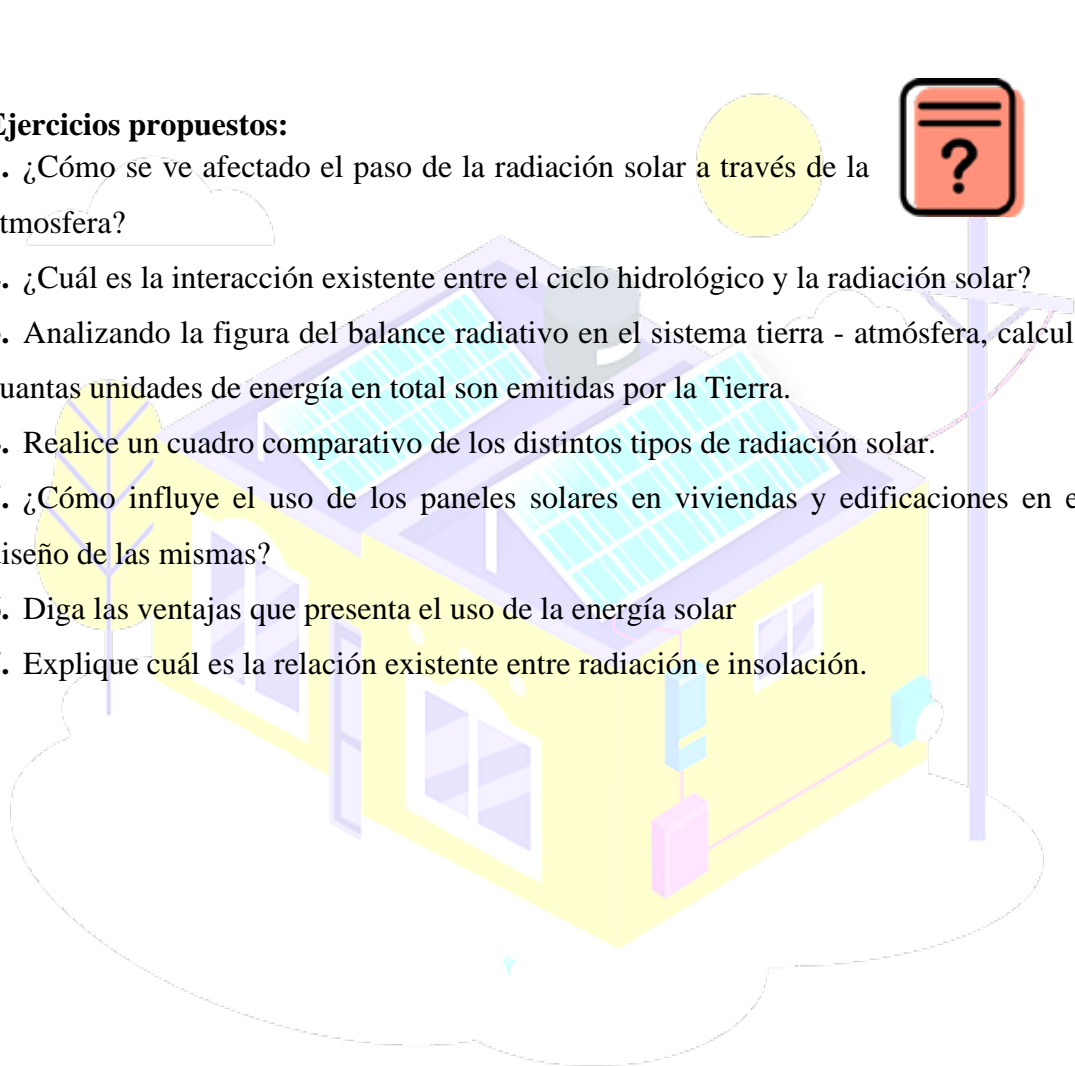
$$\frac{R}{T} = 2897 / 5000 = 0,58 \mu\text{m}(\text{corresponde a radiación visible de onda}$$

corta).

larga).

### Ejercicios propuestos:

1. ¿Cómo se ve afectado el paso de la radiación solar a través de la atmosfera?
2. ¿Cuál es la interacción existente entre el ciclo hidrológico y la radiación solar?
3. Analizando la figura del balance radiativo en el sistema tierra - atmósfera, calcula cuantas unidades de energía en total son emitidas por la Tierra.
4. Realice un cuadro comparativo de los distintos tipos de radiación solar.
5. ¿Cómo influye el uso de los paneles solares en viviendas y edificaciones en el diseño de las mismas?
6. Diga las ventajas que presenta el uso de la energía solar
7. Explique cuál es la relación existente entre radiación e insolación.



8. Se tiene que realizar un cálculo de paneles solares para una vivienda unifamiliar ubicada en el estado Amazonas, con 8 luces de 20 Watts, las cuales funcionan 5 horas al día, adicionalmente se cuenta con 2 habitaciones, en donde, cada una tendrá su iluminación correspondiente, por lo que se cuenta con 2 luces de 20Watts y cada uno se usará unas 5 horas al día. Determinar la demanda de electricidad y el tamaño requerido de panel para lo solicitado.

9. Mediante el uso de la data proporcionada, donde se suministran los datos correspondientes a la radiación directa y radiación difusa, desde la salida del sol hasta su puesta, en intervalos de 15 minutos. La estación de superficie que tomó los datos se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas geográficas:  $77^{\circ}$  N,  $2^{\circ} 67'$  W.

**Determine:**

- a) Represente gráficamente en papel milimetrado la radiación directa y difusa, además de ello comente de qué tipo de día se trataba.
- b) Calcule la radiación solar incidente. Si el albedo era 0,15, calcúlese la radiación absorbida a lo largo del día por la superficie.



# CAPÍTULO II

VIENTOS



---

Movimiento del aire que está presente en la atmósfera, intervienen en el movimiento del viento la fuerza de gradiente de presión, el efecto Coriolis, las fuerzas de flotabilidad, de fricción y la configuración del relieve. En lo que respecta a la intensidad del viento, se tiene que se ordena según la velocidad o rapidez que este posea, haciendo uso de la escala de Beaufort.

Existen tres tipos de vientos, tales como los vientos planetarios, los vientos regionales y los locales; sin embargo, esta variable meteorológica puede ser medida mediante el uso de anemómetros y con veletas.

La acción del viento en las estructuras genera fenómenos aeroelásticos, son relativamente frecuentes en las construcciones civiles modernas, como en efecto lo están los edificios de oficinas, terminales de aeropuertos o fábricas, entre estos fenómenos se tienen el flameo, bataneo, galope y vibración inducida por desprendimientos de torbellinos.

“No podemos dirigir el viento, pero podemos ajustar las velas.”

*Anónimo.*

## CAPÍTULO II

### **Vientos:**

#### **Descripción:**

Es el movimiento del aire que está presente en la atmósfera, especialmente, en la troposfera, producido por causas naturales. Se debe indicar que las variaciones en lo que respecta a la distribución de presión y temperatura se deben en gran medida, a la distribución desigual del calentamiento de la atmósfera producto de la insolación, junto a las diferentes propiedades térmicas que puedan tener las superficies terrestres y oceánicas. Cuando las temperaturas de regiones adyacentes difieren, el aire frío por ser más denso, tiende a descender en dirección a la masa de aire cálido y ésta a su vez, por ser menos densa ascenderá; por lo tanto, se genera la circulación de las masas de aire, fenómeno denominado como viento.

#### **Factores que intervienen en el movimiento del viento:**

Las fuerzas que intervienen en el movimiento del viento es la fuerza de gradiente de presión, el efecto Coriolis, las fuerzas de flotabilidad, de fricción y la configuración del relieve. Así pues, cuando entre dos masas de aire adyacentes existe una diferencia de densidad, el aire tiende a fluir desde las regiones de mayor presión a las de menor presión. En un planeta sometido a rotación, este flujo de aire se verá influenciado, acelerado, elevado o transformado por el efecto de Coriolis en cualquier parte de la superficie terrestre en la que nos encontremos. Se debe destacar que la creencia de que el efecto de Coriolis no actúa en el ecuador es un error, debido a que lo que ocurre realmente en esta zona, es que la velocidad de los vientos se ve disminuida a medida que se acercan a la zona de convergencia intertropical (ZCI) (Ver Figura 13) y esta disminución queda automáticamente compensada por una ganancia en altura del aire en toda la zona ecuatorial, donde a su vez, esa ganancia da origen a la formación de nubes de gran desarrollo vertical y a lluvias intensas y prolongadas, ampliamente repartidas en la zona de convergencia intertropical.

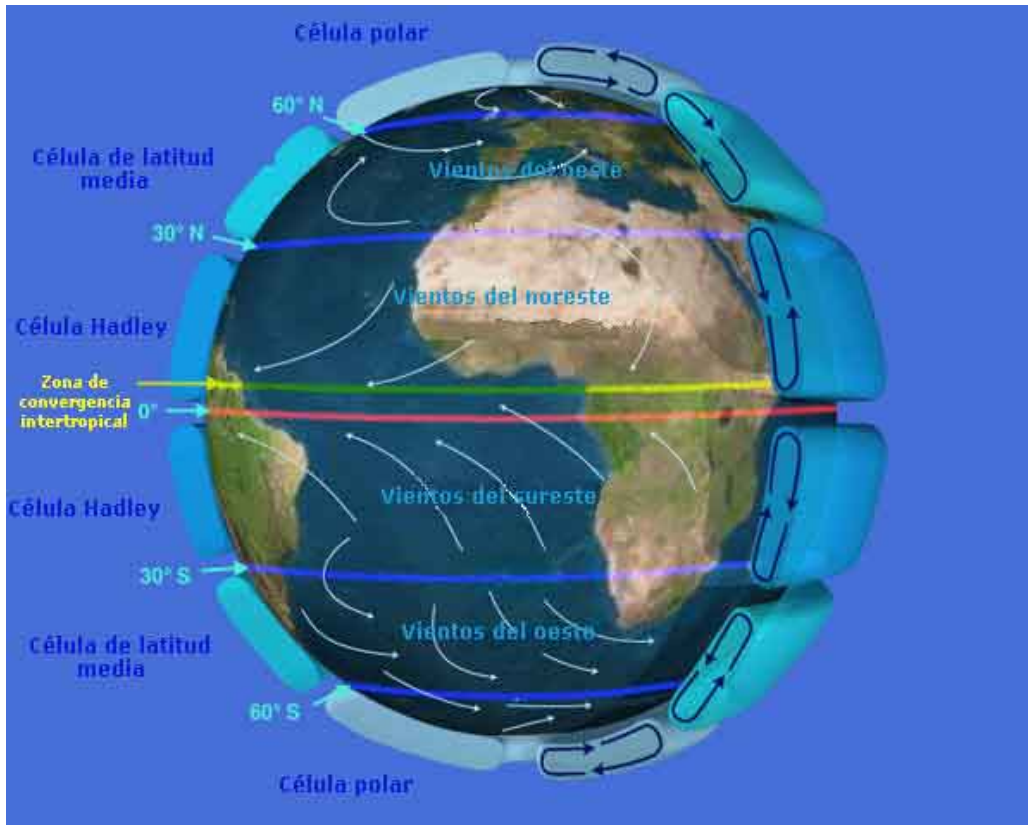


Figura 22. Zona de Convergencia Intertropical.

Si bien es cierto, nuestra atmósfera se calienta por el efecto directo de su exposición al Sol, considerando esto, es fácil pensar que entonces, específicamente en la región ecuatorial se recibe más calor, ya que, los rayos solares inciden de manera perpendicular, siendo esto diferente de lo que serían las regiones polares.

Es por ello que existe una desigualdad en lo que respecta al calentamiento, que puede producirse en las distintas regiones, generando en consecuencia, determinados movimientos atmosféricos a escala planetaria, sin embargo debido a las elevadas temperaturas de las zonas ecuatoriales se produce un sistema conocido como las células de Hadley (Ver figura 14), que inicia con el movimiento ascendente o vertical de las masas de aire por calentamiento, estas se acumulan en los niveles altos de la atmósfera, desde allí diverge hacia las altas latitudes, descendiendo a los 30° de

latitud, aproximadamente, lo cual origina un potente anticiclón llamado Alta Presión Subtropical, este sistema se presenta tanto en el hemisferio norte como el sur.

Otro proceso que afecta la circulación de los vientos, muy similar al anterior, se produce en los polos formando las células de Ferrel y las polares.

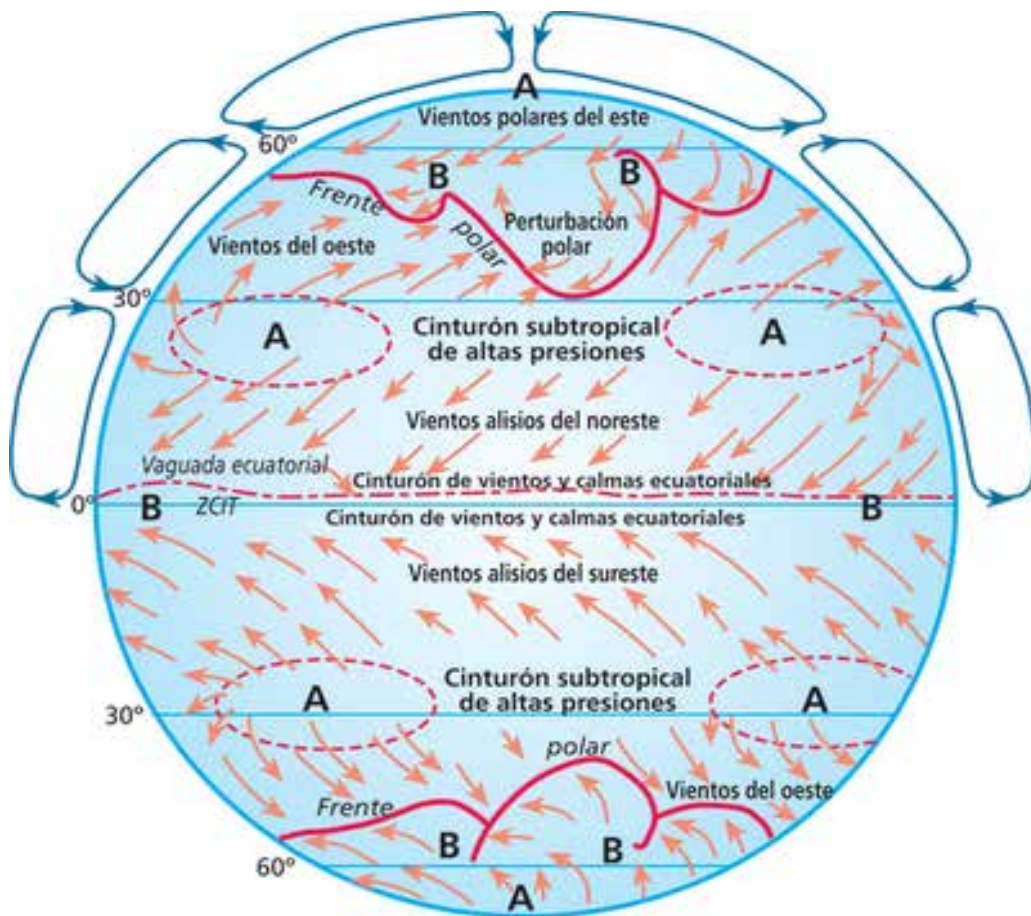


Figura 23. Células de Hadley.

**Dirección del viento:**

En cuanto a la dirección que puede tener el viento, se debe indicar que se define como la orientación del vector del viento en la horizontal. Para propósitos meteorológicos, será en otras palabras la dirección desde la cual sopla el viento y se mide en grados según la dirección de las agujas del reloj a partir del norte verdadero; este puede ser medido por medio de una veleta, las cuales tienen indicadas en su parte inferior las direcciones de los vientos con los puntos cardinales y los puntos intermedios, conformando así lo que se conoce como rosa de los vientos. Los cuatro puntos principales corresponden a los cardinales: Norte (N), Sur (S), Este (E) y Oeste (O).

**Variación de la intensidad del viento según su velocidad:**

Por otra parte, en lo que respecta a la intensidad del viento, se tiene que se ordena según la velocidad o rapidez que este posea, haciendo uso de la escala de Beaufort (Ver figura 15), la cual fue diseñada en 1805 por el hidrógrafo irlandés Francis Beaufort, sin embargo, sus denominaciones originales fueron modificadas más adelante. Esta escala se divide en varios tramos, según sus efectos y/o daños causados, desde el aire en calma hasta los huracanes de categoría 5 y los tornados.

Hay que tener en consideración en relación a lo indicado anteriormente que el récord en cuanto a la mayor rapidez generada del viento en la superficie terrestre, lo tiene el Monte Washington en New Hampshire (Estados Unidos), se llegó a alcanzar unas 231 millas por hora, es decir, 372 km/h, esto fue registrado en la tarde del 12 de abril de 1934, la causa de esta rapidez tan grande, está en la configuración local del relieve, en la cual forma una especie de ensilladura de norte a sur, que fuerza al viento del oeste a concentrarse en el paso como si fuera un embudo. Por otro lado es necesario indicar que todas las cordilleras del planeta tienen puntos similares, donde los vientos soplan con fuerza por la existencia de abras, pasos, collados o ensilladuras donde se concentra y acelera el paso del viento, siendo así este caso en Venezuela,

específicamente en la carretera trasandina, en donde pasa una ensilladura de este tipo, entre la cuenca del río Mocotíes y la depresión del Táchira, que tiene como nombre el Páramo Zumbador debido a la fuerza que posee el viento.

Escala de Beaufort	Velocidad del Viento (KmPH)	Velocidad del Viento (MPH)	Indicadores	Términos Usados en las Predicciones de NWS (Servicio Meteorológico Nacional)
0	0-2	0-1	Calma; el humo sube verticalmente.	Calma
1	2-5	1-3	La dirección se puede apreciar por la dirección del humo, pero no por medio de veletas.	Ventolina
2	6-12	4-7	El viento se siente en el rostro, las hojas se mueven ligeramente; las veletas ordinarias se mueven con el viento.	Ligero
3	13-20	8-12	Las hojas y las ramas delgadas se mueven constantemente; el viento extiende las banderas ligeras.	Suave
4	21-29	13-18	Levanta polvo y papeles sueltos; las ramas pequeñas se mueven.	Moderado
5	30-39	19-24	Los árboles pequeños empiezan a balancearse; en los lagos pequeños se observan olas con crestas.	Fresco
6	40-50	25-31	Se mueven las ramas grandes; los cables telefónicos silban; es difícil usar sombrillas.	Fuerte
7	51-61	32-38	Los árboles enteros se mueven; es incómodo caminar contra el viento.	Muy Fuerte
8	62-74	39-46	Se rompen las ramas de los árboles; generalmente no se puede avanzar.	Ventarrón
9	75-87	47-54	Daños estructurales ligeros.	Ventarrón Fuerte
10	88-101	55-63	Los árboles son arrancados de raíz; ocurren daños estructurales considerables.	Temporal
11	102-116	64-72	Acompañado de daños graves generalizados.	Borrasca
12	117 o más	73 ó más	Acompañado de devastación.	Huracán

Figura 24. Escala de Beaufort. Año: 1805.

Fuente: <http://www.hidromet.com.pa/viento.php>.

### Tipos de vientos:

De acuerdo con la escala o dimensión del recorrido de los vientos tenemos tres tipos de vientos: los vientos planetarios, los vientos regionales y los locales, aunque hay algunos tipos, como los monzones, que son más difíciles de determinar y que ocupan variantes dentro de esta simple clasificación.

- **Los vientos planetarios:** denominados también como globales o constantes, estos se generan principalmente como consecuencia del movimiento de rotación terrestre, que origina un desigual calentamiento de la atmósfera por la insolación y proceden de

centros de acción dispuestos en franjas latitudinales de altas y bajas presiones, es decir, de anticiclones y depresiones. Estos cinturones se disponen aproximadamente en las latitudes ecuatoriales, subtropicales y polares (círculos polares) y se encargan de transportar una cantidad de energía realmente enorme. Estos vientos son conocidos como alisios en las latitudes intertropicales y vientos del oeste en las zonas templadas. En cuanto a los cinturones nombrados anteriormente se tienen los siguientes:

- a. **Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT):** es un cinturón de bajas presiones en las latitudes ecuatoriales y está determinada por el movimiento de rotación terrestre, el cual genera lo que se conoce como abultamiento ecuatorial terrestre, mucho más notorio, por la diferente densidad, en los océanos que en los continentes y aún más notorio en la atmósfera que en los océanos.
  - b. **Zonas de Divergencia Subtropical:** son zonas de subsidencia de aire frío procedente de grandes alturas en la zona de convergencia intertropical, es decir, de la franja ecuatorial, y que dan origen, a su vez, a los vientos alisios, que se regresan hacia el ecuador a baja altura, y a los vientos del oeste, que van incrementando su velocidad a medida que aumentan también de latitud.
  - c. **Zonas de Convergencia Polar:** son zonas de baja presión que atraen a los vientos provenientes de las latitudes subtropicales. Estos vientos traen masas de aire más cálidas y húmedas, humedad que van perdiendo por condensación (lluvias, rocío y escarcha) a medida que van encontrando aire más frío con el aumento de la latitud.
- **Vientos regionales:** Son determinados por la distribución de tierras y mares, así como por los grandes relieves continentales. Los monzones también podrían considerarse como vientos regionales, aunque su duración en el tiempo y su alternabilidad estacional los convierten más bien en vientos planetarios.
  - **Vientos locales:** los vientos locales presentan un desplazamiento del aire desde zonas de alta presión a zonas de baja presión, determinando los vientos dominantes y

los vientos reinantes de un área más o menos amplia. Los vientos locales pueden ser: brisas marinas y terrestres, brisas de valle, brisas de montaña, vientos catabáticos y anabáticos.

### **Instrumentos de medición:**

#### **ÿ Anemómetro:**

Es un instrumento meteorológico electromecánico que se usa con el fin de poder medir la magnitud de la velocidad total, la magnitud de velocidad en un plano o el componente de velocidad en una dirección específica y otras informaciones como los máximos de velocidad durante un período específico de tiempo, teniendo como base o punto de medición a la Escala de Beaufort.

Los anemómetros copa disponen de varias aspas, las cuales, están equipadas con cazoletas, en donde por la acción de la fuerza de los movimientos del aire sobre las mismas, las aspas del anemómetro comienzan a girar, gracias a ello se realiza un registro de la cantidad de vueltas, por medio de un aparato denominado como anemocinemógrafo, el número de veces que rota por minuto representa la velocidad del viento y a su vez este número de rotaciones, queda registrado por un contador en la base del eje, por lo que se recopila y analiza entonces la información de diferentes rachas de viento, que por otro lado, se debe indicar la irregularidad que se presenta en ellas, realizándose una media con diferentes valores tomados en distintos intervalos de tiempo (Ver figura 16). Sin embargo, existen otros tipos de anemómetros, tales como los anemómetros de hélice, de cable vivo, de láser Doppler y sónicos.

Por otra parte, cuando lo que se busca medir son los cambios bruscos o repentinos, como el caso de las turbulencias, se recurre a un modelo distinto de anemómetro, clasificado por el filamento caliente con el que cuenta. Asimismo, posee un hilo de platino o níquel, el cual es calentado mediante un procedimiento eléctrico. El viento, al realizar su acción, cumple la función de enfriarlo, con lo cual se produce una variación en la resistencia. De esta manera, la corriente que va a atravesar el hilo

de platino será perfectamente proporcional a la velocidad con la que se produzca el viento.



Figura 25. Anemómetro o anemógrafo de copa.

#### Y **Veleta:**

Es un instrumento que indica la dirección del viento, se suele ubicar en el punto más alto de un edificio o en otros lugares elevados. Así pues, la veleta es una forma sencilla, fácil de interpretar y de conocer la dirección del viento, aunque es cierto que no proporciona información sobre su fuerza o intensidad, por ese motivo suele venir integrada en un mismo soporte junto con un anemómetro, de tal manera que ambos instrumentos se complementan y permitiendo conocer tanto la dirección del viento como su fuerza (Ver figura 17). Constan de un pivote vertical, donde puede girar libremente una pieza de forma variada, normalmente por uno de sus extremos termina en punta de flecha y por el otro lleva dos paletas que forman un ángulo bastante cerrado. Cuando sopla el viento, el aparato tiende a colocarse en la posición de mínima resistencia, y como el lado de las paletas ofrece la máxima, es la punta de flecha la que nos indica la dirección de procedencia del viento. Normalmente sobre el mismo eje de la veleta y por debajo de ella va montada una cruz con los cuatro puntos cardinales para facilitar la observación.

Debe estar alejada de edificios, árboles o cualquier otro tipo de obstáculos que puedan interferir, ya que se pueden ocasionar alteraciones o desviaciones en las corrientes de aire, por lo que la veleta indicaría una dirección errónea



Figura 26. Veleta de estación Meteorológica.

#### **Aplicabilidad en la Ingeniería Civil:**

En primera instancia los fenómenos aeroelásticos, son relativamente frecuentes en las construcciones civiles modernas, como en efecto lo están los edificios de oficinas, terminales de aeropuertos o fábricas. En este tipo de arquitectura aparecen con frecuencia estructuras flexibles sometidas a la acción del viento, como por ejemplo persianas formadas por láminas con distintos perfiles, en donde hay que decir que uno de estos perfiles es el perfil en Z, formado por un elemento central y dos alas laterales.

Es por ello que el estudio sistemático de las características del viento es muy importante, al dimensionar estructuras de edificios tales como lo serían los silos, grandes galpones, edificaciones elevadas. Por lo general, el cálculo las interacciones dinámicas del viento con la estructura en cuestión, suele ser muy complicadas de predecir, de tal manera que aún con los más modernos programas de ordenador suele ser un trabajo laborioso. Por tanto, cuando la estructura tiene especial importancia, se suele recurrir a ensayos a escala que son sometidos bajo la acción de los túneles de viento.

Teniendo en consideración lo anterior expuesto, se debe decir que la aplicación de las fuerzas de viento en hormigón estructural es desarrollada en forma de presiones, los cuales actúan normal a la superficie de la estructura, en donde el viento

induce movimientos, tales como el desplazamiento, velocidad y aceleración, en donde se destaca que esta es la condición de gobernabilidad para el diseño de fuerzas laterales en el diseño de hormigón estructural, por lo tanto entender las características del viento como una carga dinámica es vital, y constituye uno de los mayores aportes de esfuerzo que envuelve al diseño de las estructuras en general.

Es necesario indicar que algunas veces, la importancia del viento no radica en su fuerza, si no en los fenómenos dinámicos que puedan generar sobre la estructura. Cuando un cuerpo elástico está inmerso en una corriente fluida, actúan sobre él tres tipo de fuerzas, en donde en primer lugar se tiene la fuerza elástica, que depende directamente de la deformación que puede presentar el cuerpo; la fuerza aerodinámica, la cual es generada por la acción del fluido sobre el cuerpo y las fuerzas de inercia, que son debidas a la aceleración del movimiento de la estructura.

### **Fenómenos aeroelásticos típicos:**

Es bien conocido que las estructuras flexibles sometidas a un flujo transversal están sujetas a fenómenos aeroelásticos típicos como el flameo, el galope longitudinal o transversal o las vibraciones producidas por el desprendimiento de torbellinos (Ver figura 22). Algunos de estos fenómenos pueden incluso aparecer de forma simultánea, de las cuales, se hablarán solo de cuatro tipos de inestabilidades, presentándose así las siguientes:

#### **Y Galope:**

El galope o es una inestabilidad típica de las estructuras esbeltas, presentándose en las estructuras que poseen secciones transversales no circulares, en general de formas arbitrarias, como las que pueden llegar a adoptar los cables de tendidos eléctricos cuando están cubiertos de hielo. Suele darse a frecuencias menores que la inestabilidad inducida por la generación de torbellinos y produce oscilaciones en dirección perpendicular al flujo con amplitud hasta 10 veces mayor

que la sección, por lo que se trata de un movimiento de 2º orden con grandes desplazamientos.

El galope inducido por una estela o wakegalloping es otra inestabilidad típica de los cables de alta tensión, pero en este caso se produce en cables ubicados a sotavento de otro. Debido a la estela de torbellinos que genera el cuerpo ubicado a barlovento, se producen unas vibraciones siguiendo una órbita elíptica casi tangente a los límites de la estela. Este fenómeno se ha observado en catenarias de ferrocarril y líneas eléctricas en las que los cables se tienden paralelos unos a los otros.

Las vibraciones de cables en puentes atirantados (Ver figura 18) se suelen corregir variando las frecuencias de vibración arriostrándolos en algún punto.

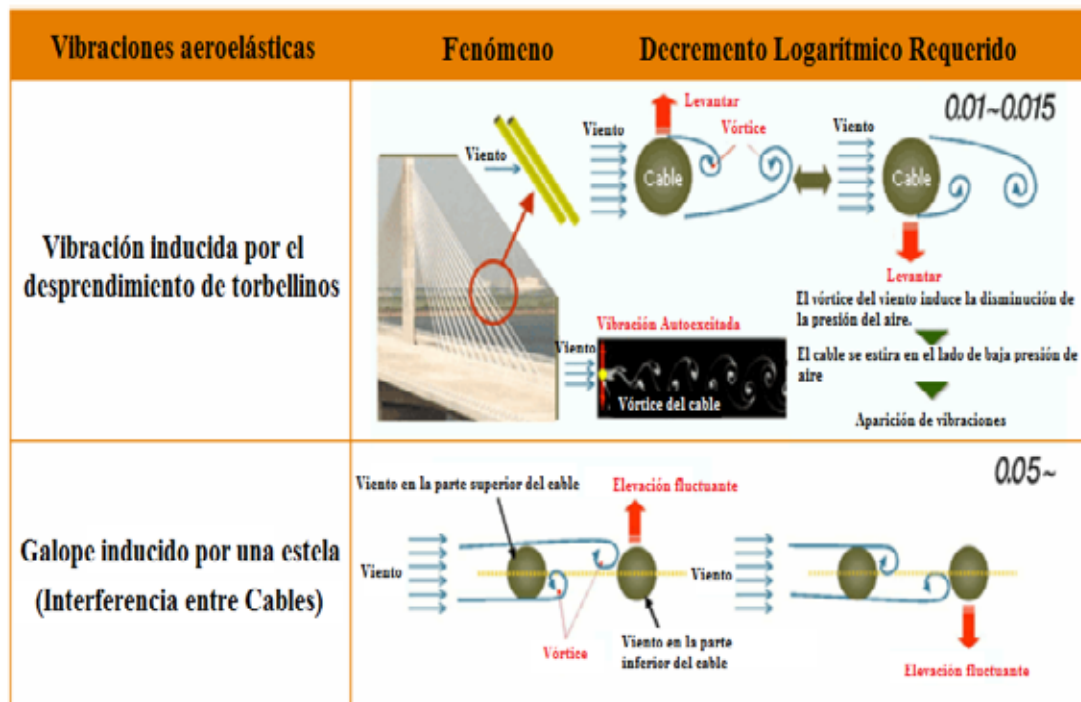


Figura 27. Principales vibraciones aeroelásticas en cables de puentes. Año: 2008.

Fuente: <https://bit.ly/2r5rpoo>

También suelen disponerse conexiones que permiten el giro en los extremos de los cables o amortiguadores que absorben vibraciones (Ver figura 19). Conviene evitar estas acciones sobre los cables ya que pueden llegar a causar la rotura frágil por fatiga.



Figura 28. Amortiguadores en los cables en el puente atirantado de Mannheim (Alemania).

Si bien es cierto este tipo de inestabilidad se determina en la práctica utilizando el criterio Glauert - Den Hartog. Este criterio precisa de la predicción exacta de la dependencia de los coeficientes aerodinámicos del ángulo de ataque.

Y **Flameo:**

Cuando las fuerzas aerodinámicas no pueden ser consideradas como estacionarias debido al propio movimiento de la estructura, que produce modificaciones en dichas fuerzas, lo que generalmente está asociado a variaciones rápidas de posición u orientación del cuerpo y por lo tanto a frecuencias de oscilación relativamente altas, es allí donde aparece el fenómeno conocido como flameo.

Bajo el nombre de flameo se agrupan diversas inestabilidades, muchas son más de aeronáutica que de ingeniería civil, empleándose términos adicionales más específicos para distinguirlas entre sí, por ejemplo, flameo clásico, flameo por pérdida y flameo de un grado de libertad.

El flameo clásico es una inestabilidad aerodinámica en la que intervienen dos grados de libertad: vibraciones laterales la cuales son en un sentido perpendicular a la corriente incidente y vibraciones a torsión y puede aparecer en estructuras que tengan frecuencias propias semejantes en ambos modos de oscilación, traslación y a torsión.

El flameo por pérdida es una oscilación en el grado de libertad de torsión que aparece en los perfiles de ala y otras secciones, ocasionado por las características no lineales de la sustentación en las proximidades de la entrada en pérdida. Un ejemplo típico es el que se produce en las señales de tráfico cuando están soportadas por postes con poca rigidez a torsión, en las que cuando el viento incide con un ángulo próximo al de entrada en pérdida se puede excitar un modo de vibración a torsión del poste que soporta la chapa de la señal.

En el flameo de un grado de libertad se podrían incluir tanto el flameo por pérdida como otros, en los que sólo es importante un grado de libertad, sea de desplazamiento lineal o de torsión. Esta inestabilidad está asociada a sistemas en los que la capa límite se desprende con facilidad (flujo alrededor de cuerpos romos con aristas), como son los tableros de los puentes colgantes. (Braun y Awruch, 2003). Este fenómeno es típico de estudio detallado en puentes colgantes y es el causante del derrumbe del Puente de Tacoma Narrows.

Hay que hacer notar que dada la importancia del fenómeno del flameo para la seguridad de estructuras como puentes de gran vano, es importante emplear medidas correctoras en la fase de diseño para aumentar la velocidad crítica de flameo. Tales medidas son la modificación de frecuencias naturales, el aumento del amortiguamiento o el cambio de forma en la sección transversal del tablero. Normalmente una sección más alargada en el sentido del flujo es menos favorable a

la aparición de inestabilidades como el flameo o las vibraciones inducidas por torbellinos.

Y **Bataneo:**

Es aquella vibración de altas frecuencias, que se produce por las turbulencias o perturbaciones no causadas por el obstáculo que las sufre, si no por otro cuerpo cercano, en donde, el cuerpo en cuestión, está sometido a la acción de una corriente que no es estacionaria ni uniforme corriente arriba del obstáculo, es decir, incluso antes de que éste pueda perturbar apreciablemente a la corriente, puede aparecer el fenómeno conocido como bataneo. De igual manera es importante indicar que existen dos tipos de bataneo, en la cual tenemos aquel que es generado por la propia turbulencia de la corriente incidente que puede dar lugar a cargas cuasiestáticas o dinámicas y por otro lado a que debido a las perturbaciones causadas por algún otro obstáculo próximo situado corriente arriba del obstáculo; este último tipo de bataneo se conoce en la literatura como bataneo de estela o interferencia.

Es importante dejar como ejemplo, un típico caso donde se produce bataneo de estela, la cual se genera entre rascacielos próximos en áreas urbanas, cuando la dirección del viento es tal que un edificio queda en la estela del otro; es necesario destacar que como la turbulencia es un fenómeno tridimensional, el bataneo, sea el debido a la turbulencia del viento atmosférico o el inducido por estelas, puede producir efectos de vibraciones longitudinales, transversales y de torsión (Simiu y Scanlan, 1996).

El bataneo es un fenómeno más típico de las construcciones de ingeniería civil que de las estructuras diseñadas en la ingeniería aeronáutica. Estructuras como puentes o edificios de gran altura suelen estar sometidos a las turbulencias producidas por la orografía y las edificaciones que le rodean. Las velocidades de viento fluctuantes que se originan en estas situaciones deben analizarse como variables aleatorias en el espacio y en el tiempo. La respuesta de un puente de gran vano frente al bataneo puede medirse en un túnel de viento de capa límite ensayando un modelo completo que incluya la orografía colindante. De igual manera también puede ser

calculado computacionalmente, haciendo uso del análisis espectral para caracterizar la carga de viento turbulento, para ello se necesitan también datos experimentales obtenidos de ensayos seccionales del tablero que definen su comportamiento aerodinámico y aeroelástico.

#### Y **Vibración inducida por desprendimiento de torbellinos:**

La vibración inducida por el desprendimiento de torbellinos (VortexInducedVibration) es el fenómeno que se produce cuando la frecuencia de las fuerzas oscilantes causadas por los torbellinos que se forman a sotavento de un cuerpo inmerso en el flujo de un fluido y este coincide con su frecuencia natural de vibración.

Es importante destacar que debido a la forma no aerodinámica de las secciones de tableros de puentes, al aumentar la velocidad del flujo, la capa laminar se separa del contorno formándose una estela de torbellinos a sotavento. Este fenómeno sucede cuando las fuerzas de inercia son más importantes que las viscosas, es decir, cuando el número de Reynolds  $Re$  es grande:

$$Re = \frac{\rho VB}{\mu}$$

la viscosidad ( $\mu_{aire} = 1.7894e-5$  kg/ms a 20 °C), y  $B$  es la dimensión significativa que se emplee, normalmente el ancho del tablero.

Para un determinado rango de números de Reynolds, la generación de torbellinos se produce con sentidos de giro alternativos generando fuerzas de variación armónica. Es necesario señalar que si la frecuencia de las fuerzas generadas por el desprendimiento de torbellinos es similar a la frecuencia natural del sistema elástico del cuerpo, sobre el que incide el viento, se producen mayores amplitudes de oscilación. Además, en esta situación, el movimiento de la sección controla la frecuencia de desprendimiento. Por ello, existe un rango de velocidades de viento en

el que se produce el acoplamiento entre la vibración del sistema y el desprendimiento de vórtices o lock-in región (Ver figura 20).

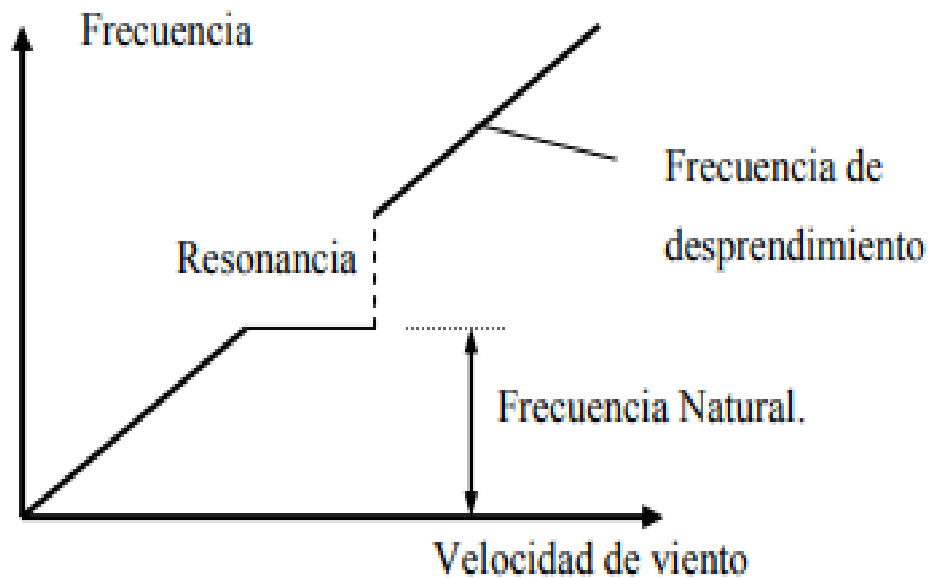


Figura 29. Evolución de la frecuencia de desprendimiento de torbellinos.

En tableros de puentes las vibraciones inducidas por los torbellinos se producen normalmente para velocidades bajas de viento (24 - 46 km/h) sin efectos catastróficos para la seguridad, pero al contrario son peligrosos por problemas de fatiga e inaceptables para el usuario, por ello es importante suprimir estas oscilaciones en cuanto se detectan. Las vibraciones inducidas por el desprendimiento de torbellinos suelen producirse en el tablero, aunque este fenómeno puede afectar a otros elementos como ha sucedido durante la construcción a principios del año 2006 del puente sobre el río Tajo en el embalse de Alcántara en España. Citando este puente como ejemplo, se tiene que cuando se había colocado el primero de los dos arcos y antes de construir el tablero, aparecieron ciertas vibraciones apreciables a simple vista, en las cuales el arco que lo conformaba se movía con una geometría asimétrica y de forma alternativa a la altura de los riñones (Figura 21).

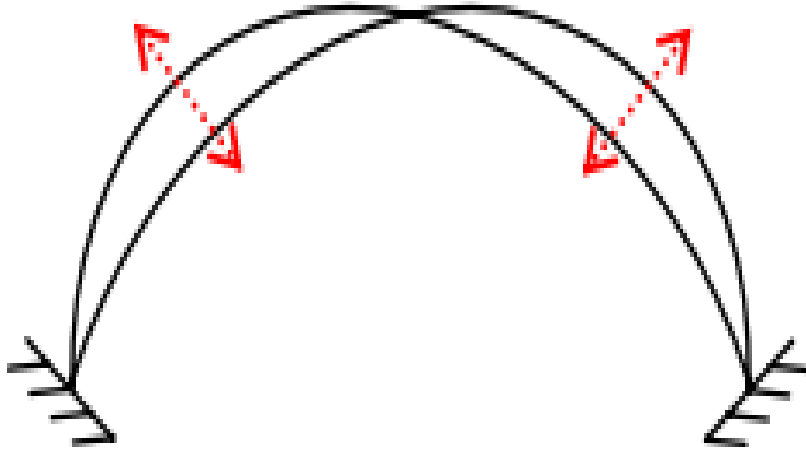


Figura 30. Forma de las vibraciones del puente sobre el embalse de Alcántara.

Después de estudiar el problema en el túnel de viento de la Universidad Politécnica de Madrid, se decidió modificar provisionalmente la sección transversal del arco añadiendo unos alerones para reducir las vibraciones mientras se construía el tablero.

Por otra parte, la forma de evitar la aparición de vibraciones debidas al desprendimiento de torbellinos consiste en estudiar cuidadosamente la aerodinámica de la sección durante la fase de diseño. Es posible también variar las frecuencias naturales de vibración para evitar que se produzca el lock-in o mitigar sus efectos aumentando el amortiguamiento estructural mediante la adición de amortiguadores de masa afinados como se tendría los TunedMassDampers o TMDs.

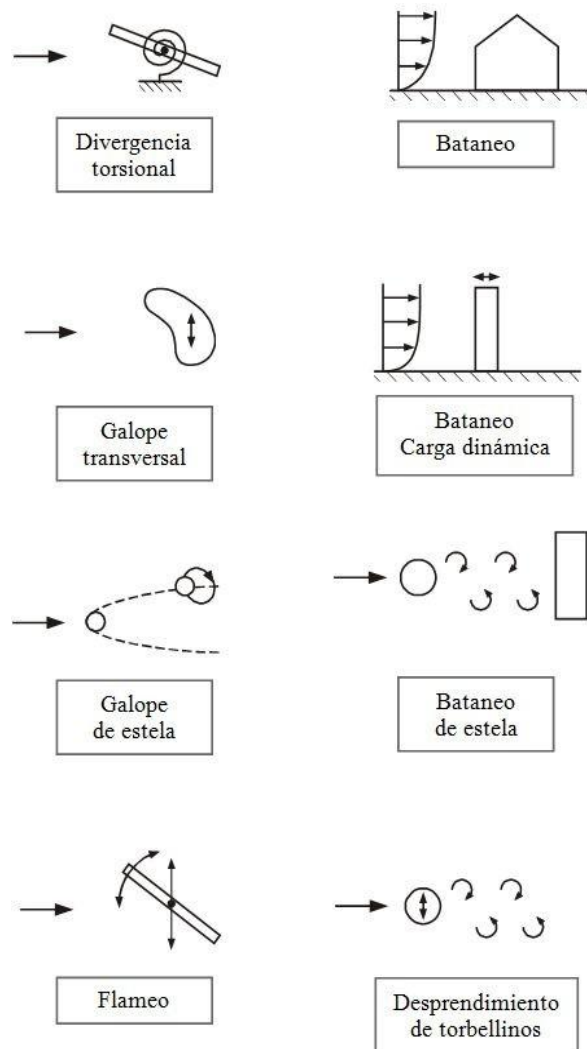


Figura 31. Inestabilidades aeroelásticas.

Como es evidente existen muchas situaciones, en las que durante el proceso de diseño de una edificación y al aplicarse las normas de cálculo de las acciones del viento, no es posible efectuar una predicción con la precisión necesaria de las cargas aerodinámicas sobre la estructura, en tales circunstancias de incertidumbre, el proceso de diseño deberá avanzar bien asumiendo los riesgos que supone el desconocimiento de las cargas del viento, bien aplicando factores de seguridad exagerados que den

lugar a un diseño en extremo conservador o de igual manera se puede intentar determinar con mayor precisión las cargas aerodinámicas, acudiendo entonces a ensayos con modelos a escala en túneles aerodinámicos o de viento.

No obstante la aplicación de técnicas de visualización del flujo alrededor de las edificaciones en el túnel de viento posibilita una descripción cualitativa de la interacción de éste con las estructuras, facilitando la realización del diagnóstico y el estudio de soluciones, por lo cual esta herramienta científico – tecnológica, busca mejorar la confiabilidad del diseño estructural, además de hacer investigaciones de fenómenos y efectos eólicos en las estructuras, es importante destacar que a los modelos se les colocan sensores, con el fin de medir deformaciones, velocidades, aceleraciones, temperatura y presiones producidas por efecto del viento.

Se debe señalar que esta variable meteorológica se toma en cuenta a la hora del diseño de campos de generación eólica de energía eléctrica.

De igual forma, las acciones de viento que se consideran al diseñar una determinada protección en lo que respecta a los márgenes de los embalses y taludes de montante en las presas.

### **Software para determinar la acción de los vientos:**

#### **SCE Vientos:**

Es un software en ambiente Windows, la cual permite de una manera rápida, sencilla obtener las solicitaciones que son debidas a vientos en un galpón o nave industrial siguiendo los lineamientos de la Norma de Viento Venezolana 2003:89, es decir, por medio de este software se puede realizar el cálculo de la acción del viento en lo ya mencionado, teniendo como resultado final un reporte de los cálculos efectuados, tablas de acciones en sistema resistente y en componentes, esquemas detallados del viento en el sistema resistente del galpón, para cada dirección analizada y esquemas detallados de la acción del viento en fachadas y techo para componentes.

Se debe indicar que este nos presenta un formulario principal, en la cual nos pide una información general, la cual serán los datos particulares del proyecto, por otra parte los datos geométricos, donde estos corresponderán a la información respecto a la configuración del galpón referente a las características geométricas, con respecto a la tipología, se siguen los parámetros establecidos en la norma 2003:89, suministrando características normativas, tales como el tipo de exposición, factores de permeabilidad de componentes, cerramientos en fachadas y la velocidad básica del viento (Km/h), grupo según el uso que se le dé y finalmente se debe suministrar la pendiente del techo la cual corresponde a la inclinación del cerramiento en techo del galpón. (Ver figura 23).



Figura 32. Uso del software SCE Vientos.

### **Métodos de cálculo:**

#### **Y Por medio de la fórmula genérica:**

La fórmula genérica para la carga del viento es  $F = A \times P \times C_d$ , en donde  $F$  es la fuerza o la carga del viento,  $A$  es el área proyectada del objeto,  $P$  es la presión del viento y  $C_d$  es el coeficiente de arrastre. Se debe destacar que esta ecuación sirve para calcular la carga del viento sobre un objeto específico, sin embargo este no reúne los requerimientos del código de construcción para la planificación de una nueva construcción.

$$**F = A \times P \times C_d**$$

Ahora bien, el área proyectada  $A$  es el área bidimensional que el viento golpea. Si bien en cierto, para un análisis completo, se debe de repetir el cálculo para cada lado que posea el edificio. La fórmula para calcular el área depende de la forma del lado. Para una pared plana, se hace uso de la siguiente fórmula, en donde, para el cálculo con el uso del sistema internacional  $A$  se mide en  $m^2$  mientras que para cálculos imperiales será en  $ft^2$ :

$$**A = largo * altura**$$

Ahora bien, para aproximar el área de un lado de la columna, se efectuará con lo siguiente expresado:

$$**A = diámetro * altura**$$

Por otra parte, la fórmula simple para la presión del viento  $P$  en unidades imperiales, es decir, en libras por pie cuadrado, en donde  $V$  es la velocidad del viento en millas por hora (mph). Esta fórmula se basa en el código de ética de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE, por sus siglas en inglés). El coeficiente 0,00256 es el resultado de un cálculo basado en valores típicos para la densidad del aire y la aceleración gravitatoria. Los ingenieros utilizan una fórmula más precisa para tener en cuenta un factor como los alrededores del terreno y el tipo de construcción, y para ello se puede hacer uso de una fórmula que se presenta en el código de ASCE 7- 05, o bien utilizar la fórmula UBC.

$$P = 0,00256 * V^2$$

Para encontrar la presión en las unidades del sistema imperial (newtons por metro cuadrado), además de medir V en metros por segundo, siendo así, se hace uso de la siguiente expresión:

$$P = 0,613 * V^2$$

Si no se está seguro en lo que respecta a la velocidad del viento, se procede a buscar el pico de la velocidad del viento en el área deseada, al utilizar el estándar de la Alianza de Industrias Electrónicas (EIA, por sus siglas en inglés). Por ejemplo, la mayoría en los Estados Unidos, en la Zona A tienen vientos de 140 km/h, pero en las zonas costeras puede quedarse en la Zona B a 160 km/h o Zona C a 180 km/h.

En cuanto al arrastre se tiene que es la fuerza que el aire ejerce sobre el edificio, viéndose afectado por la forma que posea el edificio, la rigidez de su superficie y muchos otros factores. Por lo general, se mide el arrastre directamente de manera experimental, pero para un cálculo de la rigidez, se puede buscar un coeficiente típico de arrastre para la forma que se está midiendo. Por ejemplo, el coeficiente de arrastre estándar para un cilindro largo es de 1,2 mientras que para uno corto es de 0,8. Esto se aplica a las antenas en forma de tubo que se encuentran en muchos edificios. El coeficiente estándar para una placa plana como la que se encuentra en la fachada de un edificio es de 2,0 en el caso de que sea larga o de 1,4 en el caso de una más corta. Se debe indicar que este coeficiente es adimensional.

Y **Por medio de la fórmula desarrollada por la Alianza de Industrias Electrónicas:**

En este caso la fórmula correspondiente a la carga del viento será la siguiente mostrada:

$$F = A * P * Cd * Kz * Gh$$

Donde  $A$  es el área proyectada,  $p$  es la presión del viento,  $C_d$  es el coeficiente de arrastre,  $C_e$  es el coeficiente de exposición y  $C_r$  es el factor de respuesta de ráfaga. Como se puede apreciar en comparación de la fórmula anterior, se requiere de algunos parámetros más, para determinar la carga del viento. Por lo general, esta fórmula sirve para calcular la carga del viento sobre las antenas. Se debe destacar que  $C_d$ ,  $C_e$  y  $C_r$  son las mismas variables que se emplean en la ecuación genérica planteada con anterioridad, por otra parte se tiene que  $C_e$  es el coeficiente de exposición y este se calcula teniendo en cuenta la altura desde el suelo, hasta el punto medio del objeto, se representa en metros, finalmente  $C_r$  será el factor de respuesta de ráfaga y se calcula tomando en cuenta la altura total del objeto. Las unidades de  $C_r$  son en  $m^{-1}$ .

El área proyectada del objeto dependerá directamente de su forma y tamaño, ya que si el viento golpea una pared plana, el área proyectada será mucho más sencilla de calcular en comparación a si el objeto fuera redondo, considerando que el área proyectada será una aproximación del área que entra en contacto con el viento. Por todo ello no existe una fórmula única para calcular esta área. Las unidades correspondientes al área son en  $m^2$ . En efecto en el caso de una pared plana, utiliza lo siguiente establecido, midiendo el largo y ancho de la pared donde el viento entra en contacto con el mismo.

$$A = \text{largo} * \text{ancho}$$

Así mismo en el caso de un tubo o una columna, también se puede calcular su área utilizando el largo y el ancho, pero en este caso, el ancho será el diámetro del tubo o columna.

Se debe indicar que tanto como la presión de viento  $p$  como el coeficiente de arrastre  $C_d$ , se determinan como en el caso del uso de la fórmula genérica.

El coeficiente de exposición  $C_e$  se calcula por medio de la fórmula expresada, en donde  $z$  es la altura a partir del suelo hasta el punto medio del objeto.

$$K_z = \frac{z^{\frac{2}{7}}}{33}$$

El factor de respuesta de ráfaga se calcula con la siguiente ecuación en donde  $h$  corresponde a la altura del objeto.

$$G_h = \frac{0,65 + 0,60}{\frac{h}{33}^{\frac{1}{7}}}$$

Y **Por medio de la fórmula del Código de Construcción Uniforme (UBC) de 1997:**

Esta fórmula se desarrolló en 1997 como parte del Código de Construcción Uniforme (UBC, por su sigla en inglés) con la finalidad de calcular la carga del viento.

La fórmula es  $F = A * P$ , donde  $A$  es el área proyectada y  $P$  es la presión del viento. No obstante, esta fórmula tiene un cálculo alternativo para la presión del viento.

$$F = A * P$$

Ahora bien para el cálculo de la presión del viento, se podrá determinar con la siguiente ecuación, en donde  $h$  es la altura, exposición y factor de respuesta de ráfaga combinados, además  $C_e$  es un coeficiente de presión, la cual es equivalente al coeficiente de arrastre en las dos ecuaciones anteriores, luego se tiene  $C_q$  que corresponde a la presión de estancamiento del viento además de que esta equivale al cálculo de la presión del viento en las ecuaciones anteriores y  $I_w$  es el factor de importancia. Todos estos valores pueden calcularse u obtenerse con la ayuda de las tablas adecuadas.

$$P = C_e \times C_q \times Q_s \times I_w$$

El área proyectada se determinará haciendo uso de los parámetros mencionados anteriormente en ambas fórmulas para poder realizar el cálculo de la carga de viento.

Este valor se elige con base en la tabla 16-G del UBC y toma en cuenta tres valores de exposición del terreno con varias alturas para cada valor de  $C_e$  (Ver figura 24).

**TABLE 16-G— Exposición de altura combinada y coeficiente de factor de ráfaga. (C<sub>e</sub>)<sup>1</sup>**

ALtura POR ENCIMA DEL NIVEL MEDIO DEL SUELO COLINDANTE. (ft) <small>× 304.8 for mm</small>	EXPOSICIÓN D	EXPOSICIÓN C	EXPOSICIÓN B
0-15	1.39	1.06	0.62
20	1.45	1.13	0.67
25	1.50	1.19	0.72
30	1.54	1.23	0.76
40	1.62	1.31	0.84
60	1.73	1.43	0.95
80	1.81	1.53	1.04
100	1.88	1.61	1.13
120	1.93	1.67	1.20
160	2.02	1.79	1.31
200	2.10	1.87	1.42
300	2.23	2.05	1.63
400	2.34	2.19	1.80

Figura 33. Tabla 16-G del Código de Construcción Uniforme.

Explicando con mayor detenimiento lo expresado en la tabla 16-G se tiene que la exposición B será el terreno con edificios, árboles u otras irregularidades en la superficie que cubren por lo menos un 20% del área circundante y se extiende 1,6 km o más desde el sitio. Por otra parte se tiene que la exposición C tiene un terreno que es plano y generalmente abierto, que se extiende 0,8 km o más desde el sitio. La exposición D es la más grave, con vientos básicos cuyas velocidades son de 129 km/h a más, sobre un terreno plano y sin obstáculos ubicado frente a masas grandes de agua.

En cuanto a la determinación del coeficiente de arrastre se tiene lo mismo considerado en las dos fórmulas anteriores, con el fin de conocer la carga de viento, al igual que que es la presión de estancamiento del viento.

Se determina el factor de importancia y puede obtenerse con el uso de la tabla 16-k del UBC (Ver figura 25). Es un multiplicador utilizado en el cálculo de las cargas que toma en cuenta el uso del edificio. Si un edificio contiene materiales peligrosos, su factor de importancia será mayor que el de un edificio tradicional. Los cálculos para los edificios con un uso estándar tienen un factor de importancia de uno.

**TABLE 16-K—OCCUPANCY CATEGORY**

OCCUPANCY CATEGORY	OCCUPANCY OR FUNCTIONS OF STRUCTURE	SEISMIC IMPORTANCE FACTOR, $I$	SEISMIC IMPORTANCE <sup>1</sup> FACTOR, $I_p$	WIND IMPORTANCE FACTOR, $I_w$
1. Essential facilities <sup>2</sup>	Group I, Division 1 Occupancies having surgery and emergency treatment areas Fire and police stations Garages and shelters for emergency vehicles and emergency aircraft Structures and shelters in emergency-preparedness centers Aviation control towers Structures and equipment in government communication centers and other facilities required for emergency response Standby power-generating equipment for Category 1 facilities Tanks or other structures containing housing or supporting water or other fire-suppression material or equipment required for the protection of Category 1, 2 or 3 structures	1.25	1.50	1.15
2. Hazardous facilities	Group H, Divisions 1, 2, 6 and 7 Occupancies and structures therein housing or supporting toxic or explosive chemicals or substances Nonbuilding structures housing, supporting or containing quantities of toxic or explosive substances that, if contained within a building, would cause that building to be classified as a Group H, Division 1, 2 or 7 Occupancy	1.25	1.50	1.15
3. Special occupancy structures <sup>3</sup>	Group A, Divisions 1, 2 and 2.1 Occupancies Buildings housing Group E, Divisions 1 and 3 Occupancies with a capacity greater than 300 students Buildings housing Group B Occupancies used for college or adult education with a capacity greater than 500 students Group I, Divisions 1 and 2 Occupancies with 50 or more resident incapacitated patients, but not included in Category 1 Group I, Division 3 Occupancies All structures with an occupancy greater than 5,000 persons Structures and equipment in power-generating stations, and other public utility facilities not included in Category 1 or Category 2 above, and required for continued operation	1.00	1.00	1.00
4. Standard occupancy structures <sup>3</sup>	All structures housing occupancies or having functions not listed in Category 1, 2 or 3 and Group U Occupancy towers	1.00	1.00	1.00
5. Miscellaneous structures	Group U Occupancies except for towers	1.00	1.00	1.00

<sup>1</sup>The limitation of  $I_p$  for panel connections in Section 1633.2.4 shall be 1.0 for the entire connector.

<sup>2</sup>Structural observation requirements are given in Section 1702.

<sup>3</sup>For anchorage of machinery and equipment required for life-safety systems, the value of  $I_p$  shall be taken as 1.5.

Figura 34. Tabla 16-K del Código de Construcción Uniforme

**Cuadro resumen de métodos explicados:**

Cuadro resumen de métodos explicados		
Método	Condiciones de aplicabilidad	Limitaciones
<b>Fórmula genérica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Calcula la carga de viento sobre un objeto específico.</li> <li>* Se debe conocer el valor exacto de la velocidad del viento.</li> <li>* Para un análisis completo se debe repetir el cálculo para cada lado del edificio.</li> <li>* Esta depende del área, proyectada del objeto, la presión del viento y un coeficiente de arrastre.</li> <li>* La presión depende de la velocidad del viento.</li> <li>* Conocimiento de la forma que se mide, por ejemplo si se aplica en antenas o placas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* No reúne los requerimientos del código de construcción para la planificación de una nueva construcción.</li> </ul>
<b>Fórmula desarrollada por la Alianza de Industrias Electronicas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Se requieren más parámetros que la ecuación anterior.</li> <li>* Se debe conocer el del área, proyectada del objeto, la presión del viento y un coeficiente de arrastre, un coeficiente de exposición y el factor de respuesta de ráfaga.</li> <li>* Se debe conocer la altura total del objeto.</li> <li>* Conocimiento de la forma que se mide, por ejemplo si se aplica en antenas o placas.</li> <li>* La presión depende de la velocidad del viento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* El área proyectada del objeto es dependiente de su forma y tamaño.</li> </ul>

Cuadro resumen de métodos explicados		
Método	Condiciones de aplicabilidad	Limitaciones
<b>Fórmula del Código de Construcción Uniforme</b>	<p>* Se debe conocer el del área, proyectada del objeto, la presión del viento y un que se mide, por ejemplo si se aplica en antenas o placas.</p> <p>* La altura, exposición y</p> <p>* Se toma en cuenta el uso del edificio</p> <p>* La presión depende de la consideración de la altura, exposición y factor de respuesta de ráfaga combinados, el coeficiente de presión, la presión de estancamiento del viento y el factor de importancia.</p>	<p>* Para determinar el coeficiente "Ce" que esta conformado por la altura, exposición y factor de respuesta de ráfaga combinados, se encuentra limitado a una altura por encima del nivel medio del suelo colindante, desde los 0m a los 121,92m.</p>

### Ejercicios resueltos:

#### Ejercicio N° 1:

Determinar la carga del viento, en una antena que mide 0,9 m de largo con un diámetro igual a 1,25 cm y donde la velocidad que se tiene del viento corresponde a 112 km/h.

En primera instancia, se tiene que calcular el área proyectada siendo entonces lo siguiente:

$$A = 0,9m * 0,0125m = 0,01125m^2$$

Luego el cálculo de la presión del viento, considerando lo siguiente:

$$P = 0,00256 * V^2 = 0,00256 * (112)^2 = 32,11kg/m$$

Seguidamente, para un cilindro corto, el coeficiente de arrastre es igual al valor de 0,8.

$$Cd = 0,8$$

Con todo esto, ya se pueden reemplazar las variables obtenidas en la ecuación genérica por lo que se tiene la ecuación final:

$$F = A * P * Cd = 0,01125m^2 * 32,11kg/m * 0,8 = 0,29Kg$$

**R:**La carga de viento que golpeará sobre la antena es de 0,29 kg.

### **Ejercicio N° 2:**

Determinar la carga del viento en una antena que mide 0,9 m, con un diámetro de 1,27 cm, con ráfagas de viento de 112 km/h. Esta se ubica a 14,4 m de altura.

Se comienza con el cálculo del área proyectada. En este caso:

$$A = 0,9m * 0,0125m = 0,01125m^2$$

Luego el cálculo de la presión del viento, pero primero se precede a tener la velocidad del viento en m/s, considerando lo siguiente:

$$(112 km/h * 1000 m/km) / (3600 s/h) = 31,11m/s$$

$$P = 0,613 * V^2 = 0,613 * (31,11)^2 = 593,323Pa$$

Seguidamente, para un cilindro corto, el coeficiente de arrastre es igual al valor de 0,8.

$$Cd = 0,8$$

Se procede con el cálculo del coeficiente de exposición, sabiendo que será la altura a partir del suelo hasta el punto medio del objeto por lo que:

$$z = 14,6m - \frac{0,9m}{2} = 13,95m = 46,5ft$$

$$Kz = \left[ \frac{z}{33} \right]^{\frac{2}{7}} = \left[ \frac{46,5ft}{33} \right]^{\frac{2}{7}} = 1,1ft$$

$$Kz = \frac{1,1ft * 0,3048m}{1ft} = 0,33m$$

Se calcula el factor de respuesta de ráfaga, donde será igual a los 0,9m o 3ft más los 14,4m de altura o 48ft:

$$Gh = \frac{0,65 + 0,60}{\left[ \frac{h}{33} \right]^{\frac{1}{7}}} = \frac{0,65 + 0,60}{\left[ \frac{51ft}{33} \right]^{\frac{1}{7}}} = 1,17ft^{-1} = 4,003m^{-1}$$

Con todo esto, ya se pueden reemplazar las variables obtenidas en la ecuación desarrollada por la Alianza de Industrias Electrónicas por lo que se tiene la ecuación final:

$$F = A \times P \times Cd \times Kz \times Gh$$

$$F = 0,01125m^2 * 593,323Pa * 0,8 * 0,33m * 4,003 \frac{1}{m} = 7,05N$$

$$\frac{7,05N * 1Kg}{9,8067N} = 0,72Kg$$

**R:** La cantidad de viento que golpeará sobre la antena es de 0,72 kg.

**Ejercicio N° 3:**

Determinar la carga del viento en una antena que mide 0,9 m, de largo con un diámetro de 1,25 cm y donde el viento posee una velocidad de 112 km/h. Esta se encuentra en la parte superior de un edificio estándar, ubicado a 14,4 m de altura en un área con un terreno de exposición B.

Se comienza con el cálculo del área proyectada. En este caso:

$$A = 0,9m * 0,0125m = 0,01125m^2$$

Se determina  $C_e$ . Con base en la tabla 16-G, teniendo en consideración la altura de 14,4 m o 48ft y el terreno de exposición B para calcular el valor de  $C_e$ , sin embargo, los 48ft no se encuentran directamente en la tabla por lo que se interpola para obtener el valor final de  $C_e$ , siendo así lo siguiente:

$$Y = ((X - X1) * (Y2 - Y1) / (X2 - X1)) + Y1$$

$$Y = ((48ft - 40ft) * (0,95 - 0,84) / (60ft - 40ft)) + 0,84 = 0,884$$

TABLE 16-G—COMBINED HEIGHT, EXPOSURE AND GUST FACTOR COEFFICIENT ( $C_e$ )<sup>1</sup>

HEIGHT ABOVE AVERAGE LEVEL OF ADJOINING GROUND (feet) × 304.8 for mm	EXPOSURE D	EXPOSURE C	EXPOSURE B
0-15	1.39	1.06	0.62
20	1.45	1.13	0.67
25	1.50	1.19	0.72
30	1.54	1.23	0.76
40	1.62	1.31	0.84
60	1.73	1.43	0.95
80	1.81	1.53	1.04
100	1.88	1.61	1.13
120	1.93	1.67	1.20
160	2.02	1.79	1.31
200	2.10	1.87	1.42
300	2.23	2.05	1.63
400	2.34	2.19	1.80

Seguidamente, para un cilindro corto, el coeficiente de arrastre es igual al valor de 0,8.

$$Cd = 0,8$$

$$Qs = 0,00256 x V^2 = 0,00256 * 112^2 = 32,12Kg/m^2$$

Ahora bien, se procede a determinar el factor de importancia. En un edificio estándar es 1.

Con todo esto, ya se pueden reemplazar las variables obtenidas en la ecuación desarrollada por la Alianza de Industrias Electrónicas por lo que se tiene la ecuación final:

$$F = A \times C_e \times C_d \times Q_s \times I_w$$

$$F = 0,01125m^2 * 0,884 * 0,8 * 32, \frac{12Kg}{m^2} * 1 = 0,26Kg$$

**R:** La cantidad de viento que golpeará sobre la antena es de 0,26

## Ejercicios propuestos:



1. ¿Cómo se ve influenciado el viento bajo el efecto de coriolis?
2. Si se tiene una velocidad del viento de 77KmPH ¿Qué tipo de perturbación se generaría, e indique como este se clasificaría según los términos usados en las predicciones de NWS?
3. Realice un cuadro que contenga las características en donde se indiquen las zonas que conforman los vientos planetarios.
4. ¿Qué tipo de inestabilidades se presentan en las estructuras debido al efecto del viento?
5. Diga las ventajas que presenta el uso de la energía eólica.
6. ¿Cuáles son los factores a considerar para la ubicación de los parques eólicos?
7. Determine la carga del viento, en una antena que mide 1 m de largo con un diámetro igual a 2 cm y donde la velocidad que se tiene del viento corresponde a 90 km/h.
8. Determine la carga del viento en una antena que mide 2,5 m, con un diámetro de 2,43cm, con ráfagas de viento de 100 km/h. Esta se ubica a 12 m de altura.
9. Determinar la carga del viento en una antena que mide 1,5 m, de largo con un diámetro de 1,75 cm y donde el viento posee una velocidad de 115 km/h. Esta se encuentra en la parte superior de un edificio estándar, ubicado a 16 m de altura en un área con un una zona que presenta irregularidades provenientes del conjunto de edificios que se presentan en dicha zona.

# CAPÍTULO III

TEMPERATURA DEL AIRE



---

Es un índice indicativo del calentamiento o enfriamiento del aire que resulta del intercambio de calor entre la atmósfera y la tierra, en donde, la radiación solar es absorbida por la tierra, la cual a su vez calienta por contacto las capas inferiores de la atmósfera, y estas luego transmiten su calor a las capas más altas, en virtud de las corrientes de convección que se establecen. Así pues, en general, las capas bajas de la atmósfera se hallan a mayor temperatura que las situadas encima de ellas

Existen ciertos factores que intervienen en la variación de la temperatura, tales como la diurna, estacional, con la latitud, con el tipo de superficie y según la altura.

Los instrumentos de medida para esta variable meteorológica son el termómetro de mercurio, los de máxima y mínimo, al igual que los mixtos de máximo con mínimo. Se expresan en grados Fahrenheit (°F) y Centígrados (°C), sin embargo las absolutas son las escalas Kelvin y Rankine.

“El canto, como el genio, ha de crear atmósfera, temperatura, medida del universo, ambiente, luz, que irradie de soles personales.”

## CAPÍTULO III

### **Temperatura del aire:**

#### **Descripción:**

La temperatura del aire se refiere al grado de calor específico del aire en un lugar y momento determinado, así como la variación temporal y geográfica en las diferentes zonas climáticas. La temperatura es un índice indicativo del calentamiento o enfriamiento del aire que resulta del intercambio de calor entre la atmósfera y la tierra. Este valor forma parte de los elementos que componen el clima, al igual que las precipitaciones, la humedad, el viento y la presión.

En relación con los rayos solares, hay que decir que estos atraviesan la atmósfera sin que el aire absorba una cantidad apreciable del calor de aquellos. Pero, en cambio, la radiación solar es absorbida por la tierra, la cual a su vez calienta por contacto las capas inferiores de la atmósfera, y estas luego transmiten su calor a las capas más altas, en virtud de las corrientes de convección que se establecen. Así pues, en general, las capas bajas de la atmósfera se hallan a mayor temperatura que las situadas encima de ellas y, por tanto, la temperatura del aire, igual que la presión, disminuye con la altitud. Esta afirmación puede tomarse como cierta para los 11 ó 12 primeros kilómetros de la atmósfera, siendo la disminución (gradiente) de unos  $0.55^{\circ}$  C por cada 100 m de aumento con respecto a la altura. Además de ello, a medida que la temperatura del aire aumenta, el tiempo atmosférico tenderá a ser inestable produciéndose lluvias e incluso tormentas y en el caso donde la temperatura del aire desciende, el tiempo en este caso, será más estable y se presentarán días soleados sin nubes y con el ambiente seco.

Es importante destacar ante todo lo citado, que la sensación térmica es algo distinto de la temperatura tal como se define en termodinámica. La sensación térmica es el resultado de la forma en que la piel percibe la temperatura de los objetos y/o de su entorno, la cual no refleja fielmente la temperatura real de dichos objetos y/o entorno.

Si bien es cierto, también hay que considerar los siguientes conceptos en la referente a temperatura del aire, por lo que se tiene lo siguiente:

- **Temperatura máxima:** es la más alta que puede alcanzar el aire en un sitio determinado ya sea a lo largo de un día, de un mes o de un año, de manera que podemos hablar de temperatura máxima diaria, mensual o anual, respectivamente. Por otro lado, también puede hacer referencia a la mayor temperatura de una zona en particular a lo largo de un período extenso de tiempo, de manera que hablamos de máxima absoluta.

- **Temperatura mínima:** opuesto al caso anterior expuesto, se tiene que es la menor temperatura registrada en un lugar a lo largo de un día, mes o año. Cabe mencionar que la mínima diaria se registra al amanecer y las mensuales dependen del hemisferio, para el norte, en enero o febrero; para el sur, en julio o agosto, siempre que las condiciones sean normales.

#### **Factores de variación de la temperatura:**

- **Variación diurna:** es el cambio de temperatura entre el día y la noche, producido por la rotación de la Tierra. Durante el día la radiación solar es, en general, mayor que la terrestre, por lo tanto la superficie de la Tierra se torna más caliente. Durante la noche, en ausencia de la radiación solar, sólo actúa la radiación terrestre, por esta razón la superficie se enfría. Dicho enfriamiento continúa hasta la salida del sol; por lo que, la temperatura mínima ocurre generalmente poco antes de la salida del sol.

**Variación estacional:** esta variación se debe a la inclinación del eje terrestre y el movimiento de traslación de la Tierra alrededor del sol. El ángulo de incidencia de los rayos solares varía, estacionalmente, en forma diferente para los dos hemisferios. El

hemisferio norte es más cálido en los meses de junio, julio y agosto, en tanto que el hemisferio sur recibe más energía solar en diciembre, enero y febrero.

- **Variación con la latitud:** la mayor inclinación de los rayos solares en altas latitudes, hace que éstos entreguen menor energía solar sobre estas regiones, siendo mínima dicha entrega en los polos. Sin embargo, en el Ecuador los rayos solares llegan perpendiculares, siendo allí máxima la entrega energética.

- **Variaciones con el tipo de superficie:** en primer lugar la distribución de continentes y océanos produce un efecto muy importante en la variación de la temperatura, debido a sus diferentes capacidades de absorción y emisión de la radiación. Las grandes masas de agua tienden a minimizar los cambios de temperatura, mientras que los continentes permiten variaciones considerables en la misma. Sobre los continentes existen diferentes tipos de suelo: Los terrenos pantanosos, húmedos y las áreas con vegetación espesa tienden a atenuar los cambios de temperatura, en tanto que las regiones desérticas o áridas permiten cambios grandes en la misma.

- **Variaciones con la altura:** a través de la primera parte de la atmósfera, llamada troposfera, la temperatura decrece con la altura. Este decrecimiento se define como Gradiente vertical de Temperatura y es en promedio de  $6,5^{\circ}\text{C}/1000\text{m}$ . Sin embargo, ocurre a menudo que se registra un aumento de la temperatura con la altura: Inversión de temperatura. Durante la noche la Tierra irradia (pierde calor) y se enfría mucho más rápido que el aire que la circunda; entonces, el aire en contacto con ella será más frío mientras que por encima la temperatura será mayor. Otras veces se debe al ingreso de aire caliente en algunas capas determinadas debido a la presencia de alguna zona frontal.

**Unidades de medición:**

Se utilizan unidades relativas y absolutas de temperatura. Las unidades relativas son las que caracterizan la temperatura en grados Fahrenheit (°F) y Centígrados (°C).

Las absolutas son las escalas Kelvin y Rankine. El punto de fusión o formación del hielo marca el 0°C; el punto de ebullición marca los 100°C. A una temperatura de -273°C, las moléculas de un cuerpo cesan completamente de moverse, por lo que se pierde todo el calor; es entonces en donde en este punto marca el cero en las escalas absolutas, es decir:  $-273^{\circ}\text{C} = 0 \text{ K} = 0 \text{ R}$ .

**Instrumentos de medición:****ÿ Termómetro de mercurio:**

La temperatura del aire a diversas horas del día se mide por medio del termómetro de mercurio, este fue inventado por Galileo en 1593. Hay muchos tipos distintos de termómetros, el modelo más sencillo consiste en un tubo graduado de vidrio con un líquido en su interior que puede ser, por ejemplo, alcohol o mercurio. Como estos líquidos se expanden más que el vidrio, cuando aumenta la temperatura, asciende por el tubo y cuando disminuye la temperatura se contrae y desciende por el tubo (Ver figura 26).

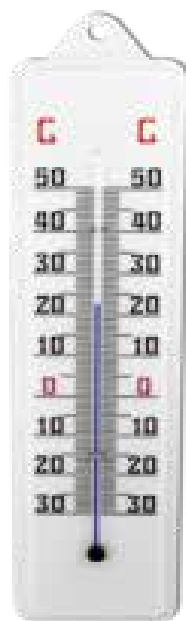


Figura 35. Termómetro de mercurio.

Hay que indicar que se debe proteger al termómetro contra la radiación. Es por ello que se debe de usar un sistema de protección eficiente la cual se denomina como garita meteorológica, la cual puede ser de persiana única o doble persiana. La Garita es de madera y está pintada de blanco con el fin de no absorber la radiación y calentarse, la doble persiana asegura una mayor ventilación de su interior y así una temperatura mucho más real. Es un sistema de protección homologado y utilizado en los observatorios meteorológicos profesionales. Se debe instalar a 1,5m del suelo, preferentemente en superficie de césped natural, además de ello la puerta de la garita se debe orientar siempre a norte, así al abrir para hacer las observaciones, no les dará nunca el sol directamente a los termómetros.

#### Y **Termómetros de máxima y mínima:**

El termómetro de máxima es de mercurio y señala la mayor temperatura registrada durante cierto intervalo de tiempo. Consiste en un tubo de vidrio que posee un estrangulamiento cerca del bulbo, y su función consiste en permitir el paso del mercurio cuando aumenta la temperatura, sin embargo impide su regreso al

depósito cuando la temperatura desciende, por lo que la columna de mercurio permanece indicando la temperatura máxima registrada. (Ayllón, Teresa.2003).

El termómetro de mínima sirve para indicar la temperatura mínima registrada durante un determinado tiempo. Consiste en un termómetro de líquido orgánico, donde su punto de congelación es muy bajo ( $-110\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), provisto de un índice de color brillante que flota en el líquido. Cuando la temperatura desciende, la tensión superficial del menisco de la columna lo mueve hacia el bulbo, y la temperatura aumenta, el líquido fluye alrededor del índice; permanece adherido al tubo capilar del instrumento, indicando la temperatura más baja.

Existen termómetros que son a la vez de máximos y mínimos. El más conocido es el de Bellani. Consiste en un tubo en forma de “U” con bulbos en sus dos extremos, en los cuales se ha colocado un líquido orgánico. En la parte inferior tiene mercurio, y encima un índice metálico, en cada rama. Al subir la temperatura, los líquidos se expanden y se despliegan hacia la columna de máxima; al bajar el mercurio se eleva el índice, y marca la máxima temperatura alcanzada. Al descender la temperatura los líquidos se contraen, y sube el mercurio por el ramal de mínima, moviendo hacia arriba el índice, el cual quedara señalado la mínima temperatura. (Ayllón, Teresa.2003). (Ver figura 27).



Figura 36. Termómetro de máximo y mínimo de mercurio con tejadillo.

La suma de temperaturas máximas y mínima de un día dividida entre dos, nos proporciona la temperatura media diaria. El promedio de dichas temperaturas en el transcurso de un mes, nos indica el promedio mensual; y el promedio de las medias mensuales durante un año, nos proporciona finalmente la media anual. Ahora bien, se debe indicar que la recopilación de estos promedios durante varios años es la base para trazar los mapas de isotermas y logrando así la determinación del régimen térmico de un lugar. (Ayllón, Teresa. 2003).

### **Aplicabilidad en la Ingeniería Civil:**

El estudio de la atmósfera terrestre y sus procesos, es importante en la práctica de un Ingeniero Civil, dado que las obras se realizan a la intemperie y su planificación depende de las condiciones climáticas y meteorológicas. Los elementos estructurales experimentan cambios de temperatura, aumento o disminución, causándoles dilatación o contracción, este efecto puede provocarles deformaciones y/o esfuerzos térmicos. Las deformaciones térmicas se presentan en todas las direcciones y se caracteriza por la variación en las dimensiones del elemento estructural.

### **Métodos de Cálculos:**

#### **Y Conversión de temperatura:**

Para determinar las diferentes escalas de temperatura se utilizan las siguientes formulas presentadas en la figura 28.

FÓRMULAS DE CONVERSIÓN DE TEMPERATURA		
CONVERSIÓN DE	A	FÓRMULA
Grados Celsius	Grados Fahrenheit	$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \times 1.8 + 32$
Grados Celsius	Kelvin	$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$
Grados Celsius	Rankine	$\text{R} = (^{\circ}\text{C} + 273.15) \times 1.8$
Grados Fahrenheit	Grados Celsius	$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) / 1.8$
Grados Fahrenheit	Kelvin	$\text{K} = (^{\circ}\text{F} + 459.67) / 1.8$
Grados Fahrenheit	Rankine	$\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 459.67$
Kelvin	Grados Celsius	$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273.15$
Kelvin	Grados Fahrenheit	$^{\circ}\text{F} = 9\text{K} - 459.67$
Rankine	Grados Celsius	$^{\circ}\text{C} = (\text{R} / 1.8) - 273.15$

Figura 37. Tabla con fórmulas de conversión de temperatura.

Fuente: <https://www.0grados.com/escalas-de-temperatura/formulas-de-conversion-de-temperatura/>

Y **Temperatura media según Guevara (1987):**

$$T = \frac{\text{temperatura máxima} + \text{temperatura mínima}}{2}$$

Y **Estimación de la temperatura media para un sitio sin registros (Método gradiente altotérmico):**

En la troposfera, que es la capa atmosférica en contacto con la superficie de la tierra, la temperatura decrece con la altitud. Esta variación de la temperatura con la altura se denomina gradiente altotérmico y tiene un valor promedio de  $0,65^{\circ}\text{C}$  por cada 100 metros de altitud, en la troposfera. En Venezuela, Eduardo Röhl citado por Guevara (1987), calculó el valor promedio para el país del gradiente altotérmico en

0,61°C/100 m. Para los estados Mérida, Táchira, Trujillo, Falcón, Lara y Barinas, se puede asumir un gradiente de 0,57°C/100 m. Utilizando el concepto del gradiente altotérmico, se puede estimar la temperatura media de un sitio sin registros, a través de la siguiente expresión:

$$T_x = T_c + \frac{GVM}{100} (\text{Altitud A} - \text{Altitud B})$$

**Dónde:**

**T<sub>x</sub>:** Temperatura media desconocida, °C

**T<sub>c</sub>:** Temperatura media conocida, °C

**GVM:** Gradiente altotérmico, en °C / 100 m.

**Altitud A:** Altitud del sitio de temperatura conocida, en metros.

**Altitud B:** Altitud del sitio de temperatura desconocida, en metros.

La estimación de temperaturas medias a través del método de gradiente altotérmico requiere que los sitios de temperatura conocida y desconocida estén ubicados en zonas de similares condiciones geográficas debido a que la variación de temperatura no se debe exclusivamente a la variación de altitud, sino que actúan otros factores como vegetación, presencia de vientos locales, exposición al sol, entre otros.

**Cuadro resumen de métodos explicados:**

Cuadro resumen de métodos explicados		
Método	Condiciones de aplicabilidad	Limitaciones
<b>Temperatura media según Guevara (1987)</b>	* Depende de la temperatura máxima y mínima.	-
<b>Método de gradiente altotérmico</b>	* Conocer los factores de vegetación, presencia de vientos locales, exposición al Sol, variación de altitud entre otros. * Estima la temperatura media de un sitio que no posee registros.	* Requiere que los sitios de temperatura conocidos y desconocidos estén en zonas de similares condiciones geográficas.

**Ejercicios resueltos:**

**Ejemplo 1:**

En la estación Valera, Estado Trujillo, la temperatura máxima para el 28 de Enero de 1982 fue de 28,9 °C y la temperatura mínima de 19,8 °C. Estime la temperatura media del aire.

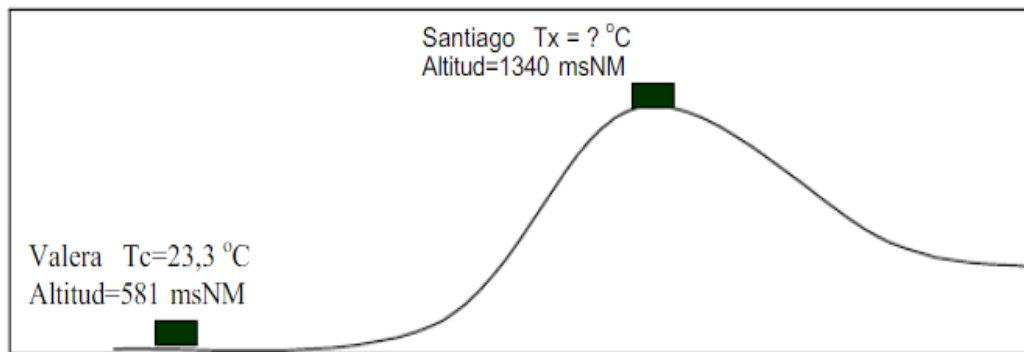
Utilizando la Ecuación de Guevara tenemos:

$$T = 28,9 \text{ °C} + 19,8 \text{ °C}$$

$$T = 24,4 \text{ °C}$$

### Ejemplo 2:

Estimar la temperatura media del mes de Enero para un sitio ubicado a una altitud de 1.340 msNM en Santiago, Estado Trujillo. La temperatura media registrada en la estación de Valera, ubicada a 581 msNM, para el mismo período es de 23,3°C. Gráficamente, el planteamiento del problema es el siguiente:



La temperatura media desconocida Tx, corresponde al sitio ubicado en Santiago y la temperatura media conocida, Tc, corresponde a 23,3°C, registrada en Valera. Para el ejemplo utilizamos el gradiente altotérmico de 0,57°C/100 m, por lo tanto:

$$T \text{ Santiago} = T \text{ Valera} + \frac{0,57}{100} (\text{Altitud Valera} - \text{Altitud Santiago})$$

$$T \text{ Santiago} = 23,3 + \frac{0,57}{100} (581 - 1340) = 18,97^\circ\text{C}$$

### Ejemplo 3:

Convertir 100°F a grados centígrados.

$$^\circ\text{C} = \frac{(^{\circ}\text{F} - 32)}{1,8}$$

$$^\circ\text{C} = \frac{(100 - 32)}{1,8} = 37,77 = 37,8^\circ\text{C}$$

### Ejemplo 4:

Convertir 100°C a grados Fahrenheit

$$^\circ\text{F} = 1,8^\circ\text{C} + 32$$

$$^\circ\text{F} = 1,8 (100) + 32$$

$$^\circ\text{F} = 180 + 32 = 212^\circ\text{F}$$

### Ejercicios propuestos:

1. ¿A qué se debe que las capas bajas de la atmosfera posean una mayor temperatura que las situadas encima de ellas?
2. ¿Cuál es la diferencia entre temperatura y sensación térmica?
3. Realice un cuadro comparativo donde se represente los factores que producen variación en la temperatura.
4. Se tiene una temperatura correspondiente a  $150^{\circ}\text{K}$  y se requiere conocer la misma expresada en grados Centígrados, Calcular.
5. Estimar la temperatura media del mes de Enero para un sitio ubicado a una altitud de 2000msNM en Santiago, Estado Trujillo. La temperatura media registrada en la estación de Valera, ubicada a 475msNM, para el mismo período es de  $86^{\circ}\text{F}$ .
6. En una estación ubicada en el Estado Carabobo se cuenta con una temperatura máxima de  $303,15^{\circ}\text{K}$  y la temperatura mínima de  $294.15^{\circ}\text{K}$ . Estime cual sería la temperatura media del aire.



# CAPÍTULO IV

PRESIÓN ATMOSFÉRICA

---

Presión que ejerce el aire sobre el planeta Tierra, puede variar según la altitud a la que nos encontramos, pero también depende de la situación geográfica, la temperatura, la humedad y las condiciones meteorológicas.

Puede llegar ser medido con el barómetro de Torricelli teniendo en cuenta la ecuación fundamental de la hidrostática y con el barómetro aneroide y puede expresarse en las unidades de atmósferas, milibares o mm Hg.

“El genio sólo puede respirar libremente en una atmósfera de libertad.”

## CAPÍTULO IV

### Presión atmosférica:

#### Definición:

La Presión atmosférica, es la presión que ejerce el aire sobre el planeta Tierra, está a su vez varía según los cambios meteorológicos, también puede variar según la altitud a la que nos encontramos, es decir cuanto mayor sea la altura menor es la presión atmosférica y cuanto menor es la altura mayor será la presión, reduciéndose 1 Torr por cada 10 metros de altura sobre el nivel del mar aproximadamente. (Ver figura 29).

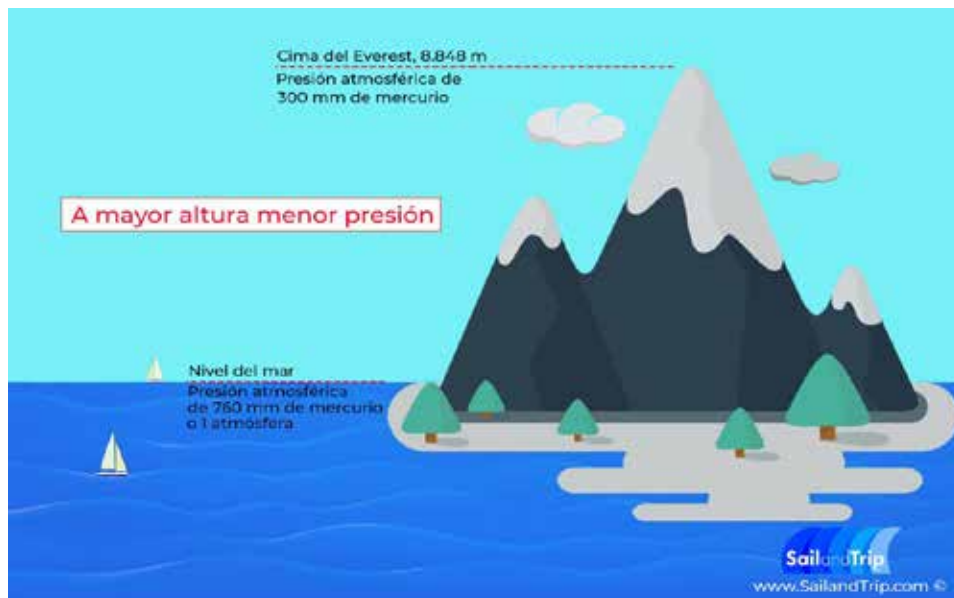


Figura 38. Variación de presión atmosférica.

En la figura 30 se muestra los valores promedio de la presión atmosférica en función de la altitud. En él puede apreciarse cómo la presión atmosférica desciende con la altura, mostrando un decrecimiento aproximadamente exponencial.

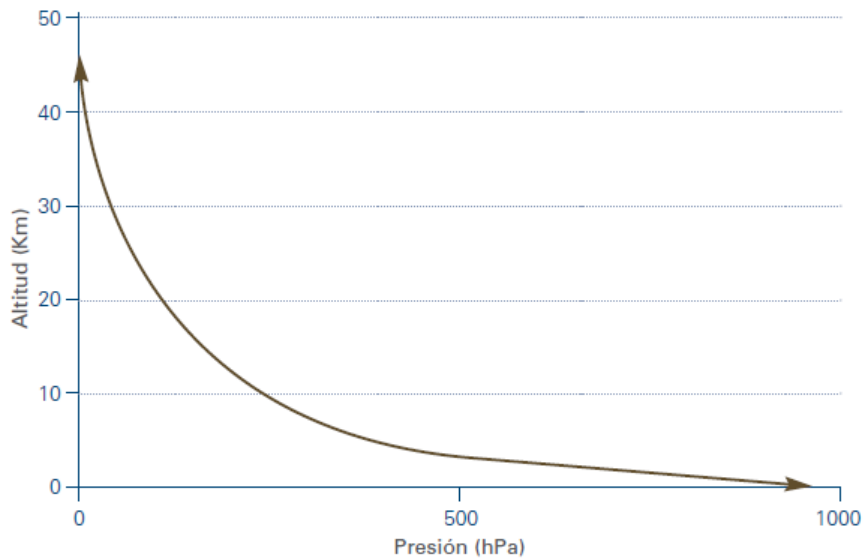


Figura 39. Perfil vertical de la presión atmosférica.

Fuente: Meteorología y Climatología - Unidad didáctica. Autores: Rosa Rodríguez y Águeda Capa. 2004.

También se puede decir que la presión atmosférica depende de otras variables como la situación geográfica, la temperatura, la humedad y las condiciones meteorológicas.

### **Instrumentos de medición:**

#### **Y Barómetro de Torricelli:**

Para medir la presión atmosférica se utiliza un instrumento llamado barómetro, el más utilizado es el barómetro de Torricelli creado en 1643 por el físico y matemático Evangelista Torricelli, de ahí su nombre.

A Torricelli se le ocurrió realizar un experimento práctico para así evaluar el comportamiento de la presión atmosférica, este experimento se basó en llenar completamente un tubo, de aproximadamente un metro de longitud, con mercurio, luego tapándolo con el dedo le dio la vuelta y lo introdujo en un recipiente con Mercurio, finalmente soltó el dedo y notó que el nivel del mercurio dentro del tubo

descendía hasta llegar a 760mm respecto al nivel del mercurio dentro de la cubeta.  
(Ver Figura 31).

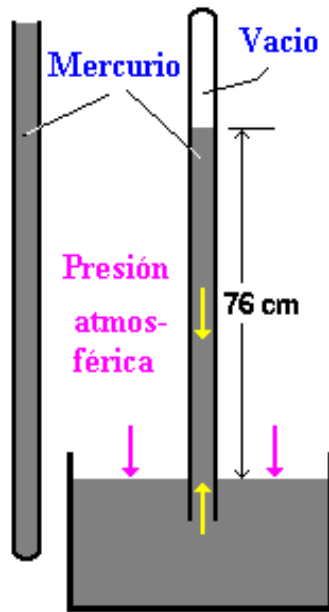


Figura 40. Barómetro de Torricelli.

Para obtener el valor de la presión atmosférica, es necesario conocer el valor de la presión hidrostática del mercurio, de esta manera la ecuación sería la siguiente:

Y **Ecuación fundamental de la hidrostática:**

$$P = h * \gamma * g$$

Dónde:

**P:** Presión atmosférica.

**H:** Es la columna de mercurio con un valor de 760 mmHg.

**Y:** Peso específico del mercurio.

**G:** Gravedad.

Sustituyendo los valores, tendremos que el valor de la presión atmosférica sería:

**P:** 10,33 ton/m<sup>2</sup>

Esto quiere decir que  $10,33 \text{ ton/m}^2$  equivalen a una columna de agua de 10,33 metros. Este valor es obtenido en condiciones normales, donde este se encuentra a nivel del mar y a  $0^\circ$  Celsius.

La presión atmosférica es de suma importancia a nivel meteorólogo, ya que con esta se puede saber si estamos bajo la influencia de altas presiones cuando esta está por encima de los 1012 milibares o de bajas presiones cuando la presión está por debajo de dicho valor. Así, por ejemplo, una bajada progresiva de la presión nos puede indicar que se acerca mal tiempo, mientras que los ascensos de presión suelen ir acompañados de buen tiempo.

ÿ **Barómetro aneroide:**

Inventado por Vidi en 1847, es un instrumento práctico y preciso que mide la presión atmosférica mediante una placa metálica que mueve las agujas del interior del barómetro, marcando así la presión que existe en ese momento. (Ver figura 32).



Figura 41. Barómetro aneroide.

### Unidades de medida:

La presión atmosférica se puede expresar en atmósferas, milibares o mm Hg (milímetros de mercurio). Normalmente se toma como referencia la presión atmosférica que existe a nivel del mar. Allí toma un valor de 1 atmósfera, 1013 milibares o 760 mm Hg y un litro de aire pesa 1,293 gramos.

Unidad	Equivalencia	Transformaciones de "x" unidades
1 atm	760 mm Hg = 76 cm Hg	$x \text{ atm} \cdot \frac{760 \text{ mm Hg}}{1 \text{ atm}} = 760 \cdot x \text{ mm Hg}$
1 atm	1,03 Kp / cm <sup>2</sup>	$x \text{ atm} \cdot \frac{1,03 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}}{1 \text{ atm.}} = 1,03 \cdot x \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$
1 atm	1013 mb	$x \text{ atm} \cdot \frac{1013 \text{ mb}}{1 \text{ atm}} = 1013 \cdot x \text{ mb}$
1 atm	101 300 Pa	$x \text{ atm} \cdot \frac{101\,300 \text{ Pa}}{1 \text{ atm}} = 101\,300 \cdot x \text{ Pa}$

Figura 42. Tabla de conversión.

### Métodos de cálculo:

#### Ecuaciones:

##### Y Ecuación de la presión:

La presión es directamente proporcional a la fuerza e inversamente proporcional a la superficie (área). Por lo tanto, si se disminuye el área sobre la que actúa la fuerza constante, la presión aumenta, pero si el área donde actúa la fuerza constante aumenta, la presión disminuye.

Por lo tanto de lo anteriormente dicho se puede deducir la siguiente:

$$P = \frac{F}{A}$$

Fuente:<http://gevent.ru/formula-de-presion-atmosferica/>

#### Dónde:

$$P = \text{presión} = \frac{N}{m^2} = \text{Pascal} = Pa$$

$$F = \text{Fuerza} = N$$

$$A = \text{Área} = m^2$$

Y **Estimación de la presión atmosférica de localidades venezolanas según Luis Guillermo Hidalgo: Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería Caracas, Ciudad Universitaria, Venezuela. Año (2017):**

Este método tiene como finalidad la estimación de la presión para una altitud de interés en cualquier localidad de Venezuela. Ahora bien, los pasos para cumplir el objetivo son: la definición del área de estudio, cuantificación de la marea atmosférica en Venezuela, síntesis de la variación altitudinal de P y establecimiento de rutina de estimación.

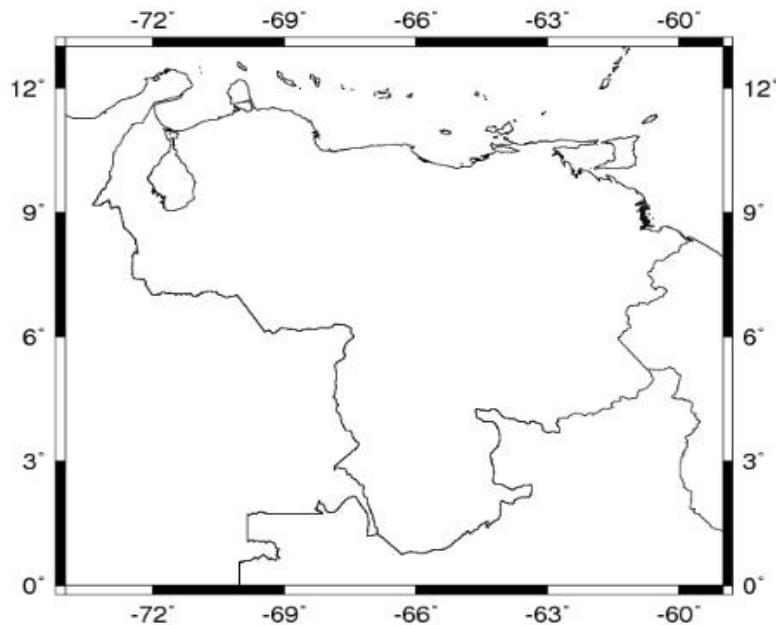


Figura 43. Área de estudio, Venezuela. Año: 2017.

Fuente: Diseño de Luis Guillermo Hidalgo, elaborado con el apoyo de la página web de Internet Coastline Extractor.

### La marea atmosférica:

El área de estudio de la marea atmosférica es el área de estudio mostrada en la figura 34.

La presión  $P$  de cualquier localidad de esa área muestra una notoria fluctuación denominada marea atmosférica, esta consiste en la ocurrencia de dos máximos y dos mínimos en lapsos de 24 horas. Para estudiar esta marea, Luis Guillermo Hidalgo usó los datos medios horarios de  $P$  de 6 aeropuertos de Venezuela (Maiquetía, Maracay Base Sucre, La Carlota, Santa Elena, Puerto Ayacucho y Maturín) de coordenadas medias  $8,49^{\circ}\text{N}$  &  $65,55^{\circ}\text{W}$ , por lo que con esos datos calculó un barograma adimensional que fue ajustado a la presión de  $971,93\text{ hPa}$ , que es la presión media anual Figura 35.

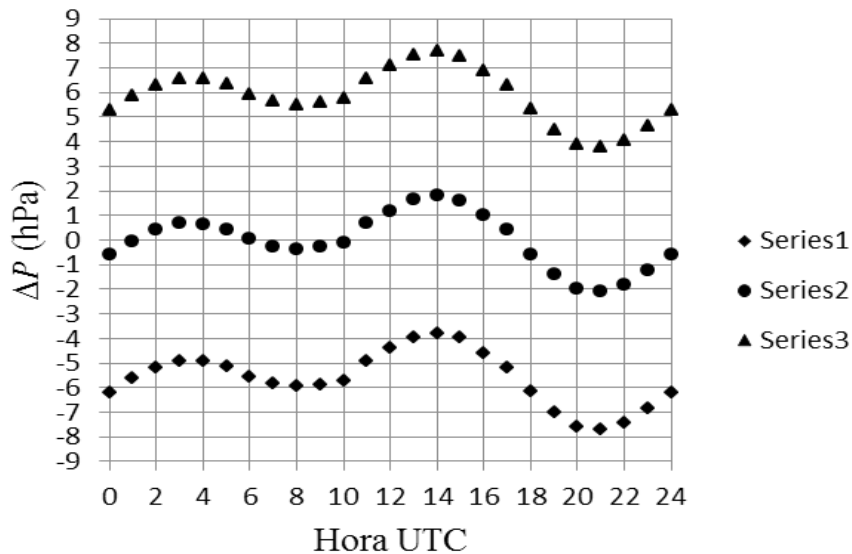


Figura 44. Desvíos horarios de la marea atmosférica de Venezuela (2001-2014).

Fuente: Estimación de la presión atmosférica de localidades venezolanas. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería Caracas, Ciudad Universitaria, Venezuela. Año (2017)

Luis Guillermo Hidalgo con este mismo barograma, obtuvo la Serie 2 de la Figura 35. Por otra parte, con datos de mínimos y máximos absolutos para Venezuela se construyó la Serie 1 para influencia anticiclónica extrema y la Serie 3 para influencia ciclónica extrema. Al suponer una rotación terráquea de  $360^{\circ}$  en 24

horas, la hora solar local para 65,55°W se calcula como UTC-4h22min; para UTC=12 se obtiene la hora local solar 7:38 am en 65,55°W.

### Variación altitudinal de P:

Datos medios de P, ajustados al período 2001-2014, estos permiten establecer la relación P vs Z de Venezuela, la cual está graficada en la Figura 36, con altitudes de aeropuertos y estaciones meteorológicas hasta 2125 msnm (Helipuerto Hotel Humboldt). La fórmula de la línea de la Figura 36 es:

$$\log(P) = 3,005197 - 4,958368 \times 10^{-5} * Z$$

### Dónde:

**Log(P):** Es el logaritmo base 10.

**P (hPa):** Es la presión.

**Z (m):** La altitud medida en metros.

Se debe indicar que las relaciones P vs Z pueden ser construidas en tiempo real si se hace uso de la página web AviationWeather Center de NOAA (NationalOceanicAtmosphericAdministration, USA); pero hay que reconvertir QNH y SLP en P y el sistema Internet puede presentar fallas.

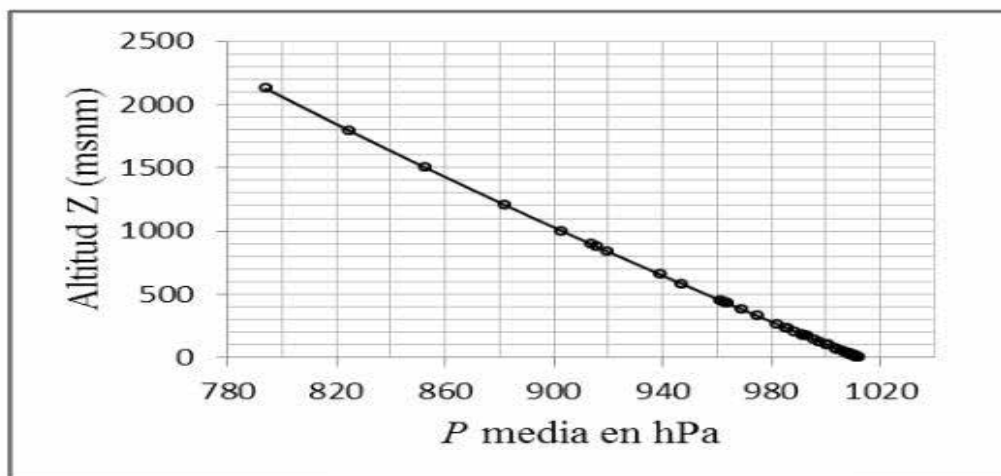


Figura 45. Presión media para diversas altitudes de Venezuela (2001-2014).

Fuente: Diseño de Luis Guillermo Hidalgo, estimación de la presión atmosférica de localidades venezolanas.

Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería Caracas, Ciudad Universitaria, Venezuela. Año (2017).

## Rutina de estimación

Para cualquier altitud  $Z$ , la Figura 36 permite estimar el valor esperado de  $P$ ; el cual debe ser corregido con algún dato extraído de la [Figura 35](#) según la hora UTC y el tiempo atmosférico del momento en la localidad de interés.

## Software para determinar la presión atmosférica:

El software BAROGRAPH ha sido desarrollado con LabVIEW de National Instruments para leer y procesar los datos de un archivo tipo texto creado por algún barómetro electrónico acoplado al computador en uso. Este software permite analizar archivos viejos en tiempo no real. Procesa en tiempo real datos de presión atmosférica y temperatura en computadores para obtener gráficos automáticos que muestren la marcha de la presión, tanto en la última hora como en los últimos días, incluyendo emisión de sonidos indicativos de la tendencia de la presión, la cual según leyes meteorológicas permite hacer pronósticos.

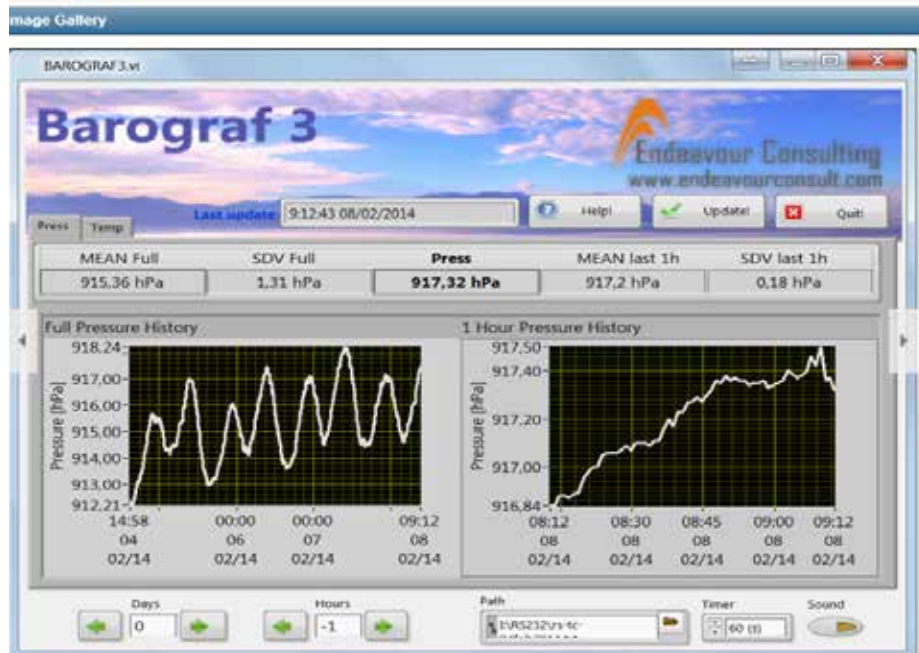


Figura 46. Ejemplo de salida del software BAROGRAF, Versión 3 creado con Lab/VIEW.

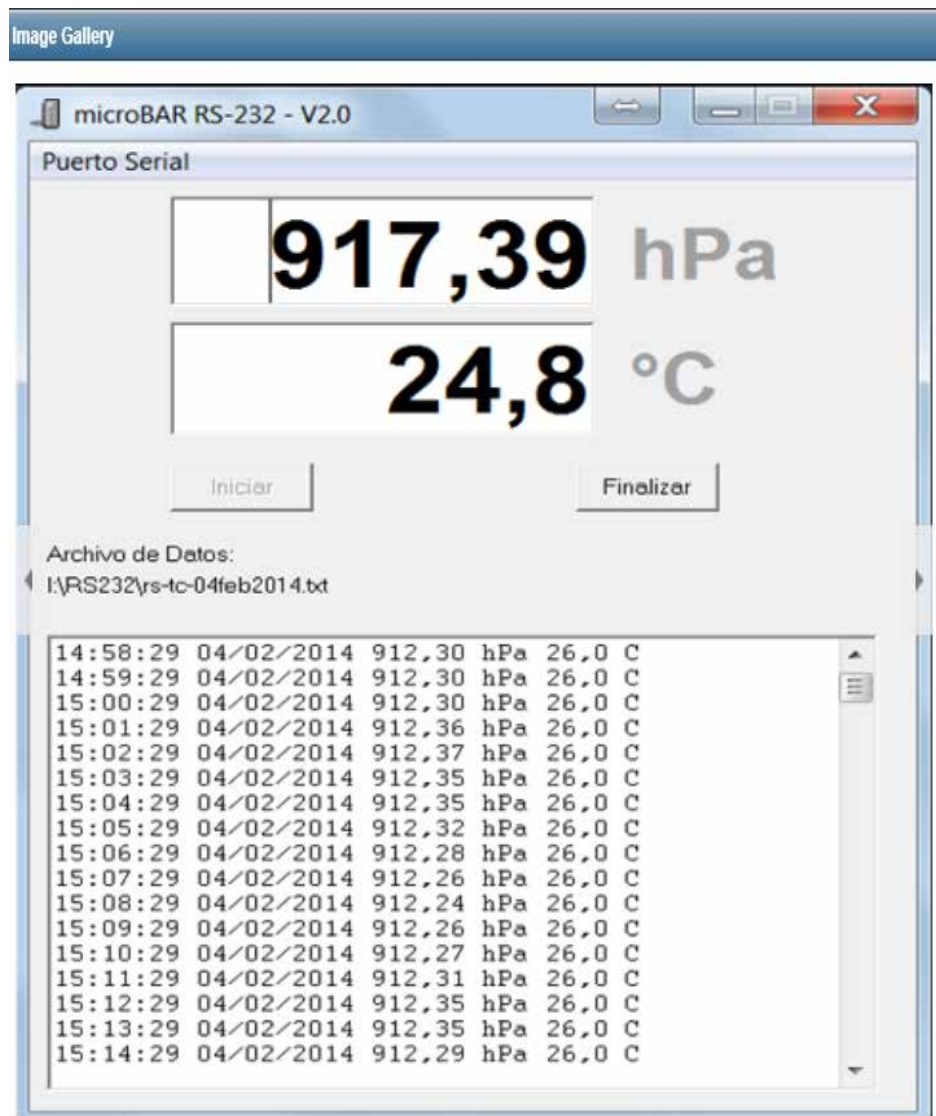


Figura 47. Ejemplo de salida básica por pantalla del dato de presión atmosférica.

**Cuadro resumen de métodos explicados:**

<b>Cuadro resumen de métodos explicados</b>		
<b>Método</b>	<b>Condiciones de aplicabilidad</b>	<b>Limitaciones</b>
<b>Ecuación fundamental de la hidrostática</b>	<p>* Depende de el peso específico y columna del mercurio, al igual que la gravedad.</p> <p>* El valor de la presión obtenida, será en condiciones normales donde este se encuentre al nivel del mar y a 0 grados Celsius.</p>	-
<b>Ecuación de la presión</b>	<p>* Si se disminuye el área sobre la cual actúa la fuerza la presión aumenta y si el área aumenta la presión disminuye.</p> <p>* Depende de la fuerza y el área.</p>	-
<b>Estimación de la presión atmosférica de localidades venezolanas según Luis Guillermo Hidalgo</b>	<p>* Estima la presión en cualquier lugar de Venezuela.</p> <p>* Se debe conocer la hora UTC en la zona a estudiar.</p> <p>* Saber el valor correspondiente la altitud medida en metros.</p>	<p>* Solo es aplicable en Venezuela.</p> <p>* Se deben realizar correcciones al resultado obtenido por medio de la gráfica de desvíos horarios de la marea atmosférica de Venezuela.</p>

### Ejercicios resueltos:

#### Ejercicio N° 1:

La presión atmosférica tiene un valor aproximado de  $1 \times 10^5 \text{Pa}$ . ¿Qué fuerza ejerce el aire confinado en una habitación sobre una ventana de  $50 \text{ cm} \times 75 \text{ cm}$ ?

**Solución:** En este caso nos pide hallar la fuerza que se ejerce sobre la ventana, para ello vamos a tomar nuestros datos:

$$P = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$$
$$A = (50 \text{ cm})(75 \text{ cm}) = 3750 \text{ cm}^2$$
$$F = ?$$

Antes de poder reemplazar en la fórmula nuestros datos, hay que considerar que el área no se puede trabajar en centímetros cuadrados, en este caso, por lo que se convertirá esa área en metros cuadrados, aplicando el siguiente factor de conversión.

$$A = 3750 \text{ cm}^2 \left( \frac{1 \text{ m}^2}{10,000 \text{ cm}^2} \right) = 0.375 \text{ m}^2$$

Una vez pasados los  $\text{cm}^2$  a  $\text{m}^2$  se procede a reemplazarlos en la fórmula:

$$P = \frac{F}{A}$$

El presente problema pide el valor de la fuerza, no la presión. Entonces se procede a despejar "F"

$$F = P \cdot A$$

Reemplazando los datos obtenidos, se conoce el valor final de F:

$$F = (1 \times 10^5 \text{ pa})(0.375 \text{ m}^2) = 37500 \text{ N}$$
$$37.5 \text{ kN}$$

**Ejercicio N° 2:**

El 25 de Septiembre del 2010 el deportista DaveMullins descendió en el mar a una profundidad de 265m en Wellington- Nueva Zelanda. Determine qué presión debió soportar, medida en pascal.

**Datos:**

$$H=265\text{m}$$

$$D=1030 \text{ Kg/m}^3$$

**Respuesta:**

$$P = h * \rho * g$$

$$P = h * \rho * g + P_{\text{atm}}$$

$$P = 265 * 1030 * 9,8 + 101300$$

$$P = 2.776.210 \text{ Pa}$$

**Debe soportar una presión de 2.776.210 Pa.**

El que una persona soporte una presión de 2.776.210 Pa, equivale decir que sobre una superficie de  $1\text{m}^2$  se coloque un cuerpo de masa igual a:

$$F = P * A$$

$$F = 2.776.210 \text{ Pa} * 1\text{m}^2$$

$$F = 2.776.210 \text{ N (Dividido por } 9,8\text{m/s}^2\text{)}$$

$$M = 283.286 \text{ kg}$$

La presión que debió soportar el buzo a esa profundidad es como si sobre una superficie de 1m por 1m se colocara un cuerpo de masa 283.286kg.

**Ejercicio N°3:**

Determine cuánto vale aproximadamente la presión atmosférica a 2.000m y a 8.000m de altura.

**Respuesta:**

$$D \text{ mercurio} = 13534 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{\text{atm}}=h*d*g$$

$$P_{\text{atm}}=2000\text{m} * 13534\text{kg/m}^3 * 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$P_{\text{atm}}= 265,26 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Por otra parte para los 8.000m de altura se calcula lo siguiente:

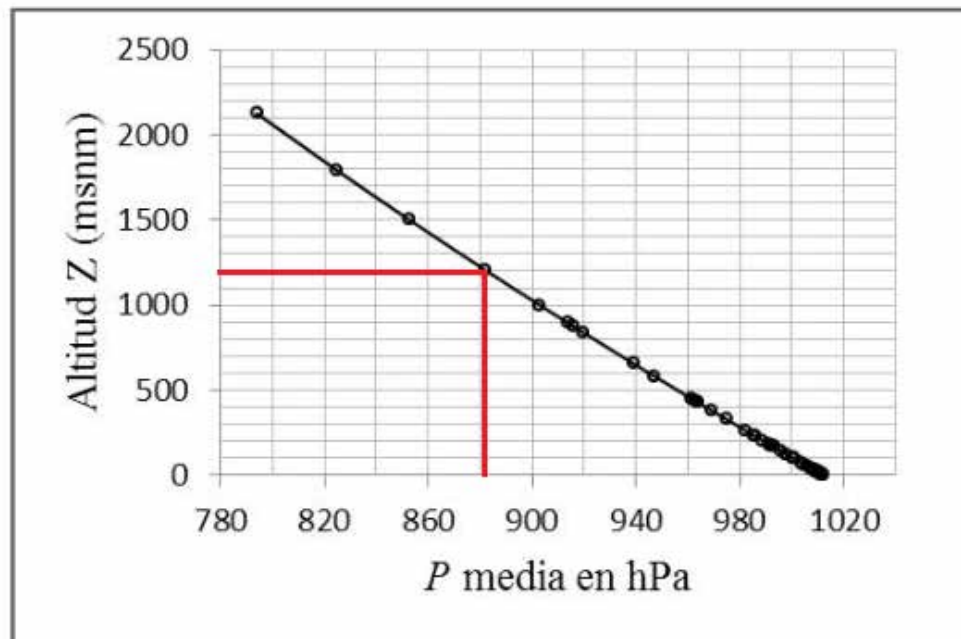
$$P_{\text{atm}}=8000\text{m} * 13534\text{kg/m}^3 * 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$P_{\text{atm}}= 1061,07 \times 10^6 \text{ Pa.}$$

Por lo que se obtiene el valor de  $\Delta P$ , igual a **0,7hPa**, aproximadamente.

$$\Delta P = 0,7 \text{ hPa}$$

Con el uso del dato proporcionado de la altitud igual a 1189 msnm se procede a realizar lo siguiente:



Por lo que se obtiene el valor de P medio, la cual es igual a **883,6hPa**, aproximadamente

$$P = 883,6hPa$$

Finalmente sumando los valores obtenidos, se tiene lo siguiente expresado:

$$P_{final} = 883,6hPa + 0,7hPa = 884,3hPa$$

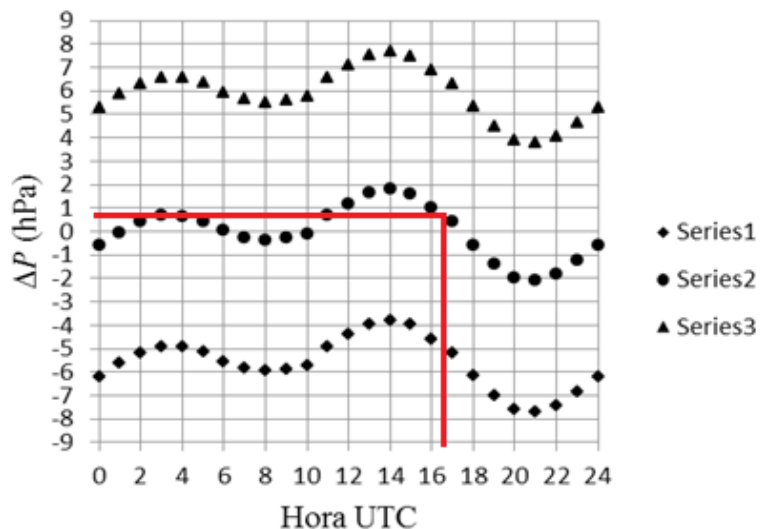
Obteniendo el valor correspondiente a la presión de **884,3hPa**. El error obtenido para P es  $+0,2/884$  considerado realmente bajo.

#### Ejercicio N°4:

Se midió con el Microbar y se obtuvo un valor de  $P = 884,1 hPa$ , el 16 Abril del 2015 a las 12:09 hora Legal de Venezuela HLV (16:39 UTC) en Sartenejas cerca de Caracas (Universidad Simón Bolívar) a 1189msnm en tiempo atmosférico casi normal. Determine el valor correspondiente a la presión P en la ubicación dada.

#### Respuesta:

En primer lugar con la hora UTC se determina según la siguiente gráfica  $\Delta P$ , en este caso para la serie 2:





Ejercicios propuestos:

1. ¿Qué es la presión atmosférica y cuáles son sus unidades?
2. En qué consiste el experimento de Torricelli.
3. La presión atmosférica tiene un valor aproximado de  $1 \times 10^5 \text{Pa}$ . ¿Qué fuerza ejerce el aire confinado en una habitación sobre una ventana de  $30\text{cm} \times 50\text{cm}$ ?
4. El 25 de Septiembre del 2010 el deportista DaveMullins descendió en el mar a una profundidad de 300 m en Wellington- Nueva Zelanda. ¿Determine qué presión debió soportar?
5. Determine cuánto vale aproximadamente la presión atmosférica a 500m y a 4000m de altura.
6. Se midió con el Microbar y se obtuvo un valor de  $P = 500 \text{ hPa}$ , a las 12:09 hora Legal de Venezuela HLV (16:39 UTC) en Sartenejas cerca de Caracas (Universidad Simón Bolívar) a 1100msnm en tiempo atmosférico casi normal. Determine el valor correspondiente a la presión P en la ubicación dada.

# CAPÍTULO V

SOSTENIBILIDAD



---

Al hablar de sustentabilidad, hay ciertos lineamientos que se toman en consideración, tales como el uso racional de los recursos, que exista una armonía entre la actividad humana y el equilibrio ambiental, y finalmente la garantía de que las generaciones futuras puedan contar con un ambiente sano, seguro y ecológicamente equilibrado, es por ello que el ser humano ha optado por el uso cada vez más frecuente de otras fuentes de energía, que efectivamente, toman en consideración los lineamientos indicados anteriormente, por medio del aprovechamiento de las variables meteorológicas, para su funcionamiento, tales como la energía solar fotovoltaica y la eólica, el uso de acondicionamientos bioclimáticos, entre otros métodos o formas de captación y adaptaciones que puedan realizarse a la unidad ambiental o el proyecto en cuestión, siempre con el objetivo de minimizar los impactos generados por el uso de energías convencionales, en donde en la actualidad en gran cantidad de países se apuesta por proyectos sostenibles, que por ejemplo contemplan el uso de paneles solares o al igual que el uso de acondicionamientos bioclimáticos.

“Hay suficiente en el mundo para cubrir las necesidades de todos los hombres, pero no para satisfacer su codicia”.

## CAPÍTULO V

### **Importancia del estudio de la radiación para la sostenibilidad:**

La radiación solar es accesible desde cualquier punto del planeta, la cual es asequible en mayor o menor medida, sin embargo, si bien es cierto, las instalaciones solares producen energía a partir de este recurso renovable, por lo cual actualmente es necesario el estudio y conocimiento de esta variable meteorológica.

Por todo lo mencionado, es importante indicar que la energía solar fotovoltaica consiste en la transformación directa de la radiación solar en energía eléctrica, este proceso de transformación se logra cuando las placas o módulos solares fotovoltaicos captan los fotones, la cuales están contenidos en los rayos solares, y los materiales semiconductores que los forman los transforman en una corriente continua de electrones, es decir, en electricidad. Se debe aclarar que esta electricidad es corriente continua, por lo tanto no es apta para el uso directo en el hogar, siendo entonces necesario el uso de un aparato que sea capaz de transformarlo en corriente alterna, denominado ondulator o inversor. Una vez se dispone ya de la electricidad en su estado óptimo, se puede vender a una compañía eléctrica o bien usarla directamente, al igual que puede ser almacenada en los acumuladores apropiados para ello, llamados baterías (Ver figura 39).

Los materiales que los conforman están dispuestos en conjuntos de células, interconectadas en serie o en paralelo y protegidas por un vidrio en la parte superior y por varias capas plásticas en la parte posterior, todo ello reforzado mediante un marco metálico y donde por último y no menos importante en la parte posterior se encuentran ubicadas las conexiones eléctricas pertinentes.

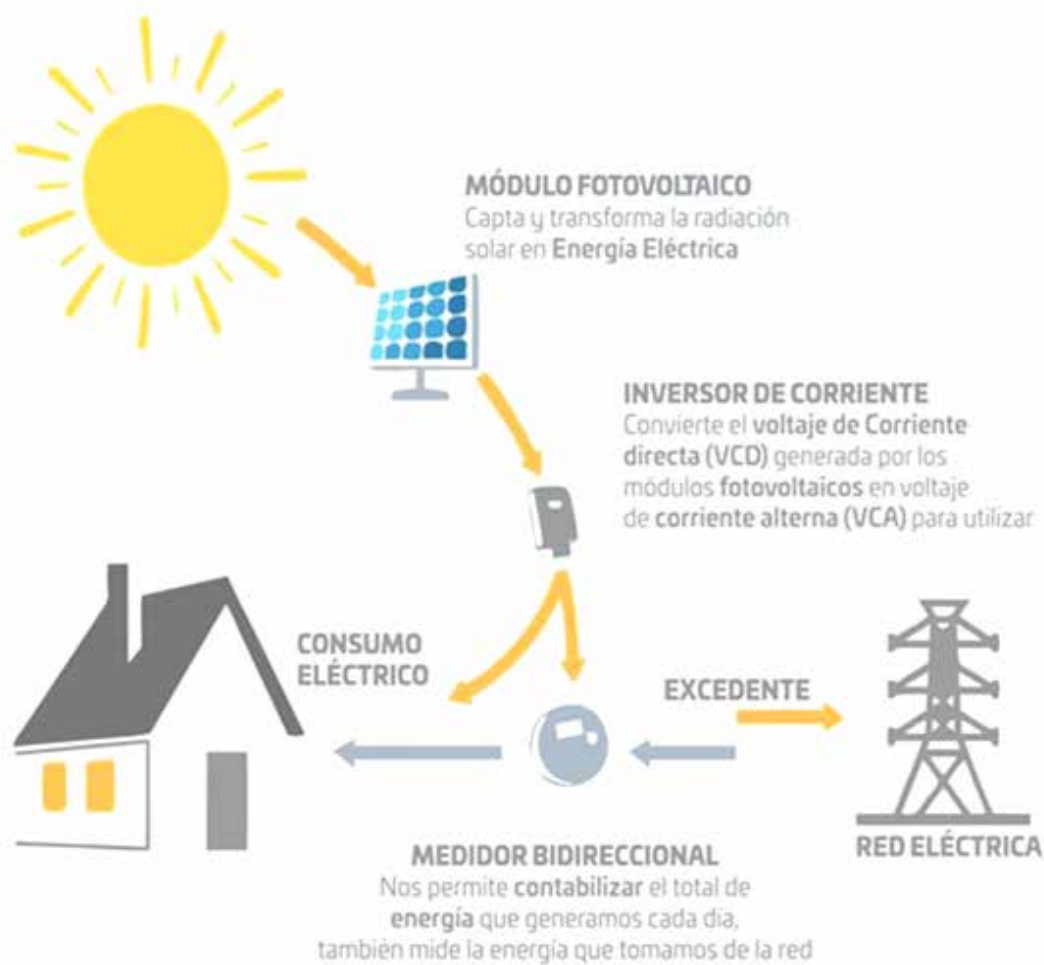


Figura 48. Esquema del funcionamiento de la energía solar fotovoltaica.

**Ventajas del uso de la energía solar para la generación de electricidad:**

• Tiene la particularidad de ser inagotable y a su vez no genera contaminación, por lo que contribuye al desarrollo sostenible.

• Favorecer el desarrollo del empleo local.

Puede ser aprovechada ya sea con instalaciones fotovoltaicas de conexión a red, en donde, la energía que se produce se utiliza íntegramente para la venta a la red eléctrica de distribución como por medio de instalaciones fotovoltaicas aisladas de red, que se utilizan para autoconsumo, ya sea para viviendas que se encuentre

apartadas, estaciones repetidoras de telecomunicación, bombeo de agua para riego, entre otros.

ÿ No produce ruidos, no genera emisiones contaminantes como las partículas, los óxidos de nitrógeno, los óxidos de azufre, no producen residuos.

ÿ Evita el consumo de combustibles fósiles y no exige medidas de seguridad sofisticadas.

ÿ Pueden ser instaladas en el tejado de cualquier edificio o en cualquier otra superficie, siempre que estos cuenten con una buena orientación al sol.

ÿ La energía solar acerca los centros de producción de energía a los de consumo, trayendo como consecuencia la reducción de la necesidad de construir infraestructuras de distribución, tales como las líneas eléctricas.

ÿ Aumenta la diversificación energética y favorece la descentralización de los centros de producción.

ÿ Se ha visto en reducción en los últimos años el precio de la tecnología solar fotovoltaica, creciendo su demanda en el mercado mundial.

ÿ El coste de conexión a la línea eléctrica convencional con respecto a la instalación de módulos fotovoltaicos, es más elevado.

ÿ Poseen una vida útil de hasta 30 años, esta duración hace que el impacto de estos proyectos se mantenga en el tiempo.

Por todo lo mencionado actualmente el sector fotovoltaico está modelando tanto el consumo energético en viviendas de diversas necesidades, al igual que el uso de las mismas determinan el diseño final de las viviendas y edificios que apuestan por el uso de paneles solares.

El panorama mundial de la energía está atravesando una transformación fundamental. El atractivo costo actual de la energía solar y eólica y las innovaciones tales como las estructuras solares flotantes y los techos solares hacen que la energía limpia sea en una propuesta muy interesante para muchos países, además de que

mejoran las perspectivas de las iniciativas mundiales de lucha contra el cambio climático. No obstante, aunque la energía solar y eólica está recibiendo más y más aceptación, no se cuenta con una solución generalizada para almacenar la electricidad que se produce y utilizarla cuando más se la necesite. El almacenamiento de energía en particular, mediante baterías, puede ayudar a resolver ese problema, pero la tecnología de las baterías es costosa y aún no se aplica de forma amplia en proyectos de gran escala. Esta deficiencia es especialmente grave en los países en desarrollo, donde la energía eólica y solar presenta un gran potencial, la demanda de energía va en aumento y las grandes poblaciones a menudo no cuentan con un servicio eléctrico confiable y asequible, por lo que con un nuevo programa de almacenamiento de energía en baterías del Grupo Banco Mundial (GBM) se buscará resolver esta deficiencia.

El GBM proporcionará respaldo en forma de inversiones a proyectos de energía renovable, como parques solares híbridos y mini redes, para reducir el costo y el riesgo de los componentes de estos mecanismos de almacenamiento, además, permitirá convocar a un grupo de estudio mundial dedicado al almacenamiento de energía en baterías, reuniendo a laboratorios nacionales, instituciones de investigación, entidades de desarrollo y organizaciones filantrópicas para fomentar la cooperación y la capacitación tecnológicas a nivel internacional, a fin de desarrollar y adaptar nuevas soluciones de almacenamiento según las necesidades y condiciones de los países en desarrollo. Por todo lo mencionado, se espera que este programa ayude a los países a ampliar la utilización de la energía renovable, incrementar la estabilidad de la red y pasar directamente a una nueva era de tecnología energética

Por último el sector fotovoltaico ya supone una considerable fuente de empleo y las expectativas de futuro auguran un incremento sustancial en los próximos años, además de que es la pieza clave para el desarrollo de cualquier actividad productiva y si se quiere generar riqueza, acortar brechas de pobreza, es necesario que se integre las energías renovables a la cadena productiva, además de mejorar la calidad de vida

sin embargo en pocas palabras todo esto expresado puede resumirse en el siguiente esquema (Ver figura 40).

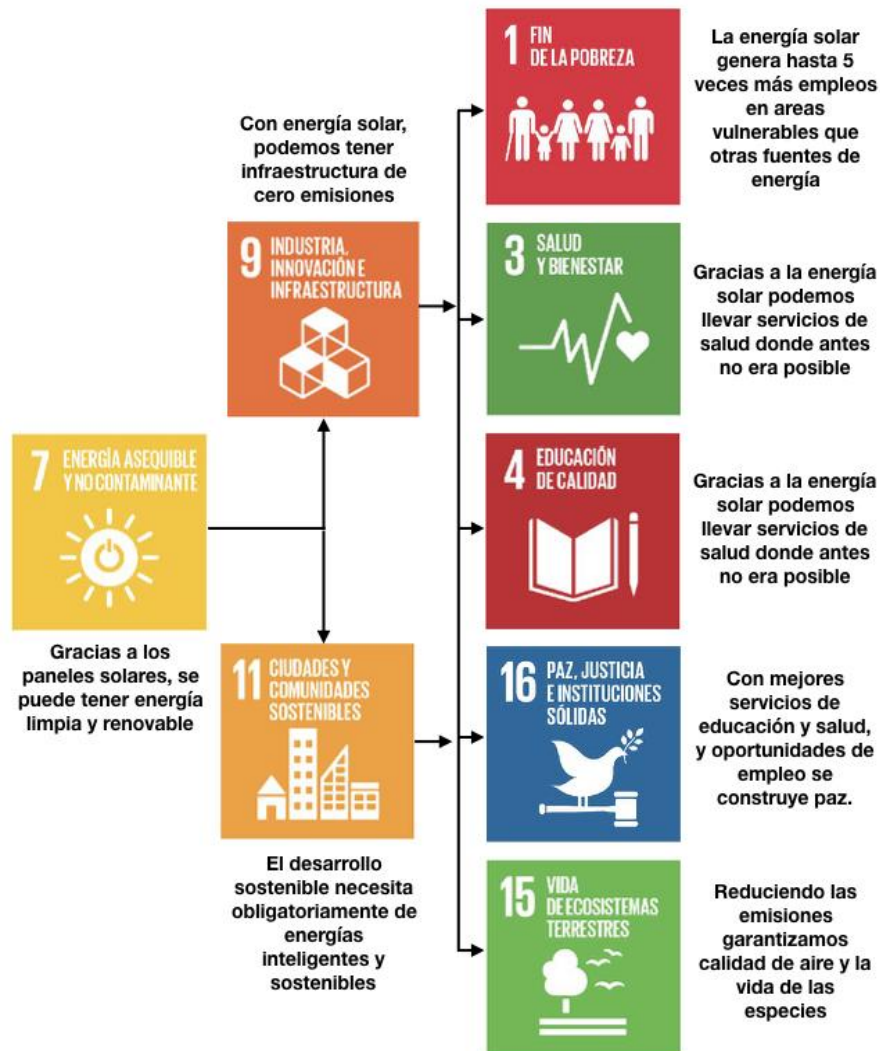


Figura 49. Relación de los objetivos del desarrollo sostenible según la ONU con el uso de la energía solar fotovoltaica.

### Proyectos sustentables que incluyen el uso de paneles solares:

A continuación se muestran los 5 diseños arquitectónicos más impresionantes, en los cuales, se incluyó el uso de paneles solares, en donde se deja en evidencia, el diseño siempre bajo el marco de la sustentabilidad:

· **Estadio de Fútbol Kaouhsiung (Taiwán):**

Construido en el 2009 y diseñado por el arquitecto Japonés ToyoIto. El estadio posee 8.844 paneles solares a lo largo de los 14.000 m<sup>2</sup> de su superficie, la cual puede abastecer hasta 1,14GWh de electricidad anualmente, reduciendo en 660 toneladas la producción anual de dióxido de carbono (Ver figura 42 y 43) y conectado a la matriz energética podría alimentar hasta un 80% del área circundante cuando no se encuentra en funcionamiento, además de ello, el estadio tiene un promedio de 3.300 lux de iluminación, conociendo que un lux corresponde a la unidad de intensidad de iluminación del Sistema Internacional, que equivale a la iluminación de una superficie que recibe normal y uniformemente un flujo luminoso de 1 lumen por metro cuadrado.



Figura 50. Indicador de emisiones de CO<sub>2</sub>, período 2006 – 2015. Año: 2016.

Fuente: <https://www.agenciasinc.es/Multimedia/Infografias/Las-emisiones-de-CO2-se-estancan-por-segundo-ano-consecutivo>.

**Consumo de Energía Primaria Mundial (Millones de Toneladas Equivalentes de Petróleo)**

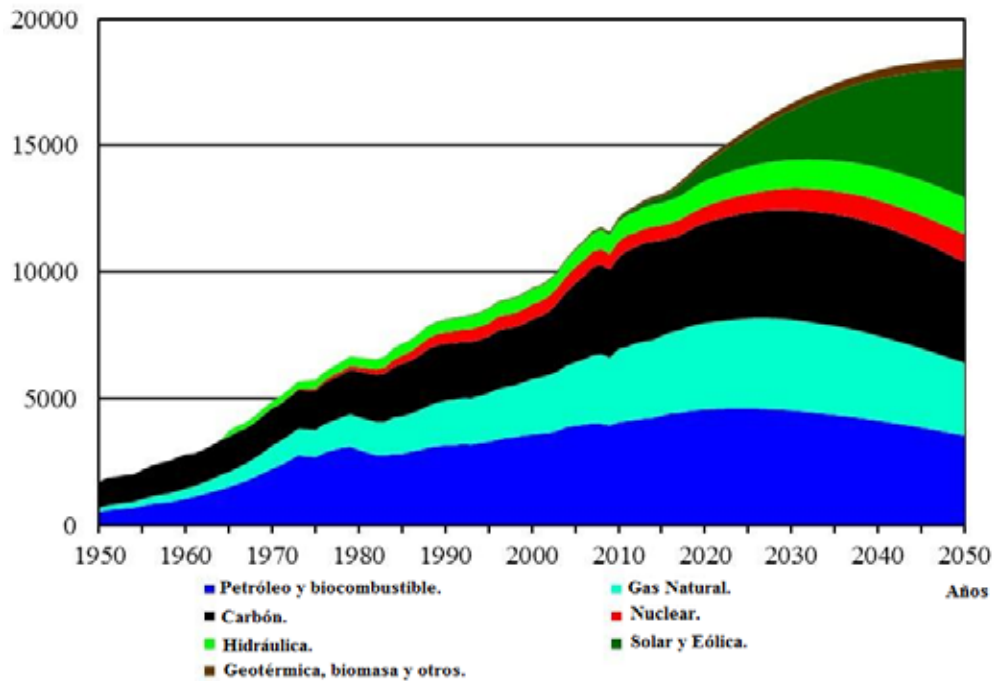


Figura 51. Indicadores de disminución de consumo de petróleo y carbón. Año: 2017.

Fuente: <http://ruddygarroussmeineweltsicht.blogspot.com/2017/06/informe-anual-energia-mundial-2017.html>.

Por otro lado, unos chips sensores ubicados en el techo realizan un seguimiento de todo el consumo y distribución de la electricidad, estos envían la información a una pequeña central eléctrica en el interior del estadio.

Hay que indicar se tuvieron que crear nuevos materiales durante la construcción y fijar los paneles solares de tal modo que sirvieran para proteger a los espectadores, pues no sólo proveerían energía, sino que son directamente el techo del estadio. Estos nuevos materiales del techo combinados con los paneles solares fueron estudiados, mediante el uso de computadoras, para determinar el impacto que los terremotos y tifones podrían tener sobre ellos, al igual que poder determinar la correcta orientación del techo para proteger al espectador del sol tropical de Kaohsiung.(Ver figura 43).



Figura 52. Estadio solar de Fútbol Kaouhsiung (Taiwán).

Y **Edificios de Oficinas Sostenibles - Arco Solar de Sanyo, Tokio (Japón):**

La empresa Sanyo cuenta con un total de 5.000 paneles fotovoltaicos que producen 500 mil kWh al año y tiene una potencia instalada de 630 kW de paneles distribuidos alrededor de una estructura de 315 metros de largo y 37 metros de alto. El edificio además de la actividad empresarial que desarrolla también cuenta con un museo fotovoltaico y un laboratorio de energía solar. Su diseño curvo obedece al máximo aprovechamiento de la luz solar, reflejando al mismo tiempo el recorrido del Sol a lo largo de su trayectoria diurna. (Ver figura 44).



Figura 53. Arco Solar de Sanyo, Tokio (Japón).

Y **Edificios de Oficinas Sostenibles - Acciona, Navarra (España):**

El edificio es capaz de generar un total de 48,3 kWp de energía, pues cuenta con 153 módulos fotovoltaicos en su fachada sur y 119 módulos fotovoltaicos en su cubierta, que permiten ahorrar en la factura de la luz, pues la conexión con la que cuenta la compañía es una conexión a red. La Sede de Acciona cuenta con arquitectura bioclimática pues cuenta con el certificado de cero emisiones, no emite gases invernaderos y se caracteriza por un gran aislamiento térmico gracias a su cámara de aire ventilada con terminación final de zinc. (Ver figura 45).



Figura 54. Edificios de Oficinas Sostenibles - Acciona, Navarra (España)

PROYECTOS PRESENTADOS					
PROYECTO	UBICACIÓN	FUNCIÓN	CANTIDADES GENERADAS	EMISIONES REDUCIDAS	CAPACIDAD DISPONIBLE PARA ABASTECER EL ENTORNO
<b>Estadio solar de Fútbol Kaouhsiung.</b>	Taiwán	Estadio de fútbol	Puede abastecer hasta 1,14GWh	660 toneladas la producción anual de CO2.	Conectado a la matriz energética podría alimentar hasta un 80% del área circundante cuando no se encuentra en funcionamiento
<b>Edificios de Oficinas Sostenibles - Arco Solar de Sanyo</b>	Tokio (Japón)	Edificios de Oficinas, un museo fotovoltaico y un laboratorio de energía solar	500 mil kWh al año	-	-
<b>Edificios de Oficinas Sostenibles - Acciona</b>	Navarra (España)	Edificios de Oficinas	48,3 kWp	-	-

### **FedEx, Medio Ambiente y Eficiencia:**

FedEx trabaja para alcanzar ambiciosos objetivos de sostenibilidad a través del programa pionero EarthSmart establecido en el 2009, que ofrece soluciones comerciales, cultura laboral y alcance comunitario, para el funcionamiento de una manera cada vez más sostenible con el interés de ayudar a reducir el impacto ambiental, por lo que EarthSmart ha guiado a FedEx hacia el logro exitoso de uno de sus objetivos de sostenibilidad y un aumento del 50% de dos de sus objetivos, centralizados en aumentar la eficiencia de combustible del vehículo y en reducir la intensidad de las emisiones de los aviones, llevando a la compañía más grande de

transporte exprés del mundo hacia adelante de una manera ambientalmente consciente.

Por otra parte se debe aclarar que el informe describe más logros, incluyendo el constante enfoque de la compañía en las fuentes de combustibles alternativos para el transporte, como la electricidad, el gas natural y los biocombustibles, sustitución de aviones que utilizan 18% menos de combustible, y se comprometen en lograr la meta de abastecimiento del 30% de su combustible para aviones a partir de fuentes alternativas para el año 2030, al igual que abarcan la temática de la comunidad y ayuda humanitaria, recordando que estos se contemplan de igual forma en los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

### **FedEx y la inclusión de instalaciones fotovoltaicas:**

Es importante hacer mención de que últimamente ciertas empresas han puesto sus esfuerzos en sus principales áreas de enfoque como son economía y acceso, medio Ambiente y eficiencia, comunidad y ayuda humanitaria, personas y lugar de trabajo, de tal manera que su funcionamiento sea de una manera cada vez más sostenible, al igual que el interés de ayudar a reducir el impacto ambiental de sus operaciones comerciales diarias.

Un ejemplo de ello se ve reflejado en FedEx, en donde en el 2009 anunciaron la iniciativa de la instalación de su tercer techo solar, en su momento el más grande de Estados Unidos, cuyo centro de distribución está ubicado en Nueva Jersey, esperando culminar la instalación, en noviembre del mismo año. El sistema de paneles solares, cubre todo el techo del centro de distribución, con más de 13.000m<sup>2</sup>, su capacidad total es de 2,42 MW, lo cual será suficiente para cubrir el 30% de las necesidades energéticas del centro, además de que estiman la reducción de sus emisiones de carbono en aproximadamente 1.867 toneladas de CO<sub>2</sub> al año. Retomando lo primero expuesto, las dos mencionadas instalaciones existentes son de 282 kW y otra de 269 kW respectivamente, ambas localizadas en California.

Luego para el año 2010, FedEx inauguró su quinto centro de operaciones aeroportuarias para Europa Central y Oriental, ubicado en la ciudad de Colonia Bonn, Alemania, operado por su empresa subsidiaria, FedEx Express. La construcción cuenta con el generador de energía solar más grande de FedEx Express en todo el mundo en aquel entonces, con un área de 16.000m<sup>2</sup> y una capacidad de producción de 800.000 kilovatios por hora al año.

Con todo lo mencionado, se tiene entonces a modo de resumen que a través de los cinco establecimientos que operan con energía solar, FedEx reduce emisiones anuales de dióxido de carbono en un total estimado de 3.918 toneladas métricas, siendo esto a un equivalente de un ahorro de más de 440.000 galones de gasolina sin consumir, o más de 100.000 árboles vivos durante 10 años. (Ver figura 46).

Anexado a ello hay que indicar que se han generado más de 20 GWh de electricidad solar y ha reducido las emisiones de CO<sub>2</sub> en aproximadamente 6.989 toneladas métricas desde la construcción de su primera instalación en 2005.



Figura 46. Techo Solar FedEx.

Como se puede apreciar, FedEx se compromete a reducir su impacto ambiental, por lo que más de 20 edificios de FedEx han sido aclamados por su sostenibilidad,

recibiendo certificaciones del programa Liderazgo en Diseño Energético y Ambiental (LEED, por sus siglas en inglés).

Ahora bien en el 2013 realizaron un informe, en donde lo más destacado del informe se incluye:

• Ahorros significativos de los esfuerzos de sostenibilidad, incluyendo ahorro de costos de combustible y energía, e ingresos por parte de materiales de reciclaje

• Logro de la meta de FedEx Express para mejorar la eficiencia global de combustible de su flota de vehículos en un 20% para el 2020, años antes de lo previsto.

• Seguir apoyando a organizaciones de ayuda humanitaria y de preparación para desastres, tales como la Cruz Roja Americana, Direct Relief, Heart to Heart International, el Ejército de Salvación y otras. FedEx trasladó aproximadamente cuatro millones de libras de ayuda a raíz de la gran tormenta Sandy solamente.

#### **Vortex Bladeless. Aerogeneradores sin aspas:**

El proyecto Vortex Bladeless es una evolución notable de los aerogeneradores actuales de 3 aspas, en donde se logró obtener aerogeneradores que no cuenten con el uso de aspas, correspondiendo entonces a una segunda generación de aerogeneradores que pueden crear la misma energía que los tradicionales que si las poseen, pero teniendo la diferencia notable de que se producirá un evidente ahorro en lo que respecta a los costes de producción, eficiencia, explotación y otras ventajas medioambientales al igual que paisajísticas, que lograron que este proyecto obtuviera el primer premio de la categoría Energía e Industria en The South Summit 2014. (Ver figura 47).

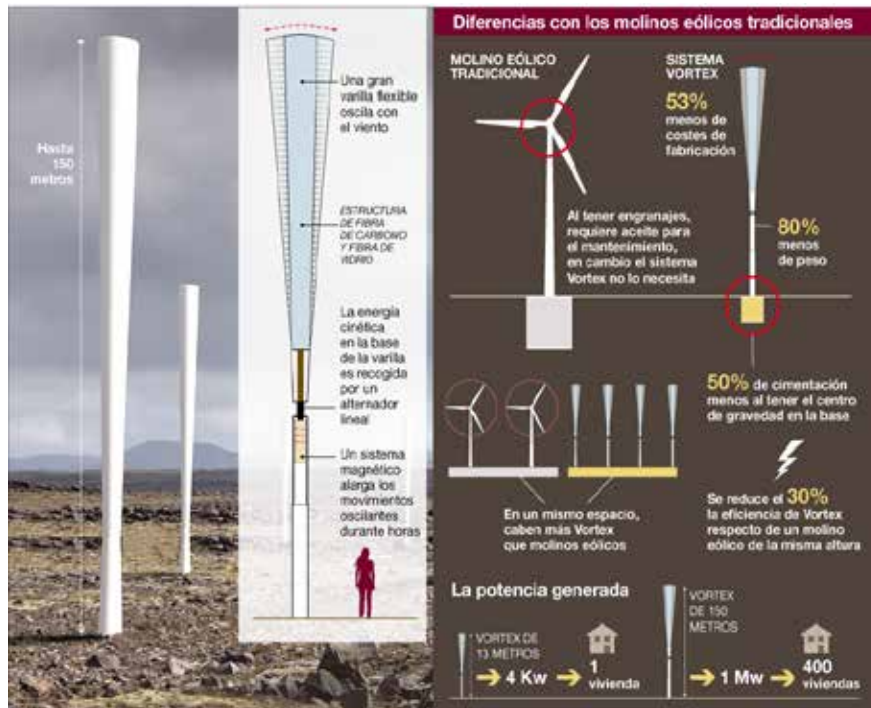


Figura 47. Comparación entre el sistema tradicional de aerogeneradores con Vortex.

Fuente: Vortex.

Por todo ello, se puede decir que son aerogeneradores totalmente diferentes a los actuales, tanto en su forma como en la manera en que estos generan energía. Los responsables del proyecto son David Suriol, David Yáñez y Raúl Martín, socios en la empresa Deutechno. La simplificación que consigue este sistema es el ahorro en materiales, transporte y mantenimiento que hará que se produzca hasta un 40% más de energía, más económica y eficiente, ya que el diseño elimina todos los elementos móviles en contacto, evitando la necesidad de lubricación y desgaste. Estas condiciones hacen que se ahorre hasta un 80% de los costes de mantenimiento en comparación con la eólica convencional, ya que no hay necesidad de cambiar ninguna pieza mecánica o usar aceite durante su vida útil (Ver figura 47). Sin embargo, no es

inmune a la fatiga, ya a que el viento provoca torsión y desplazamientos sobre la estructura, sin embargo las tensiones generadas en el núcleo, están lejos de los límites de fatiga de los materiales usados; por medio de un modelo computacional se estimó la vida operativa de la instalación que se encuentra entre 32 y 96 años.

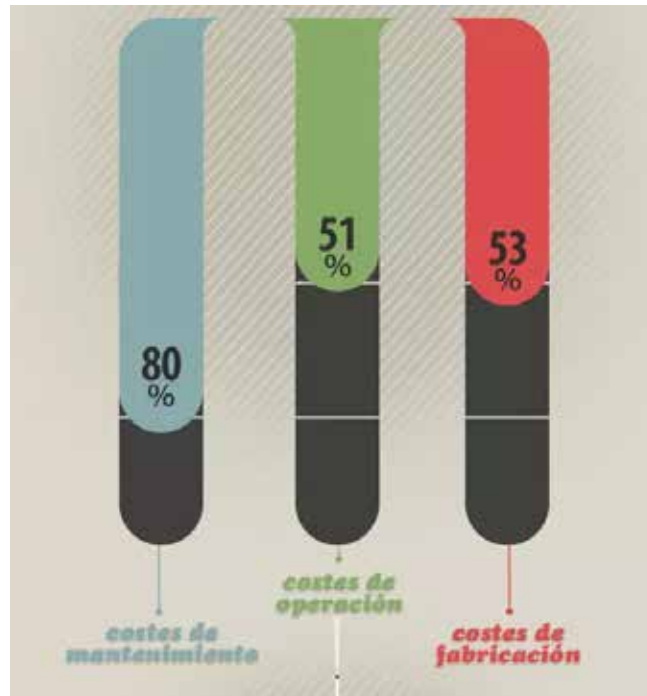


Figura 48. Ahorro de costes.

**Fuente**

El dispositivo consiste en un cilindro vertical semirrígido, fabricado con fibra de vidrio, anclado en el terreno, que incluye materiales piezoeléctricos en su interior (Ver figura 48.), donde las oscilaciones del viento deformarán los componentes, produciendo así electricidad, sin embargo Surial deja en claro lo siguiente, “Por ahora los materiales piezoeléctricos que existen no tienen la potencia suficiente para ser rentables, necesitaríamos toneladas”, no obstante, ya hay distintos grupos de investigación que están trabajando en nuevos materiales, basados en plásticos y cerámicas, logrando alcanzar una mayor potencia y menor peso.



Figura 49. Recreación en 3D de los aerogeneradores sin palas; futuros modelos podrán alcanzar más de 100 metros de altura.

**Fuente**

Retomando el mismo orden de ideas, se tiene entonces en pocas palabras, que la energía eléctrica se genera por consecuencia de la deformación que sufren esos materiales al entrar en resonancia con el viento. Según el cofundador de Vortex Bladeless, David Suriol explica que “Estos remolinos son un problema que, habitualmente, los ingenieros tratan de evitar por todos los medios, porque se les podrían caer los edificios”, como se pudo observar en el Capítulo II de la presente guía, sin embargo en el responsable explica que su caso es justo el contrario: “Nosotros lo buscamos deliberadamente y lo optimizamos”.

Explicando lo anterior expuesto de una manera más detallada, se debe indicar que la estructura que presenta estos aerogeneradores, es de manera tal que su geometría junto con un sistema de bobinas e imanes integrados en un mecanismo, que

además de generar energía eléctrica, logra que la estructura se acople a la frecuencia de oscilación de los remolinos, reproduciéndose de forma ordenada en torno a ella, haciendo que esta oscile de un lado a otro, siendo así posible el aprovechamiento de la energía cinética y convertirla finalmente en energía eléctrica.

Complementando la idea principal, es importante explicar que el fenómeno producido en la estructura se denomina como Calle de Vórtices Von Kármán, que es aquella que ocurre cuando se interpone un elemento sólido en el curso de un fluido, como lo es el viento (cuando el flujo es laminar, es decir, que discurre de forma ordenada y estratificada). (Ver Figura 50.)

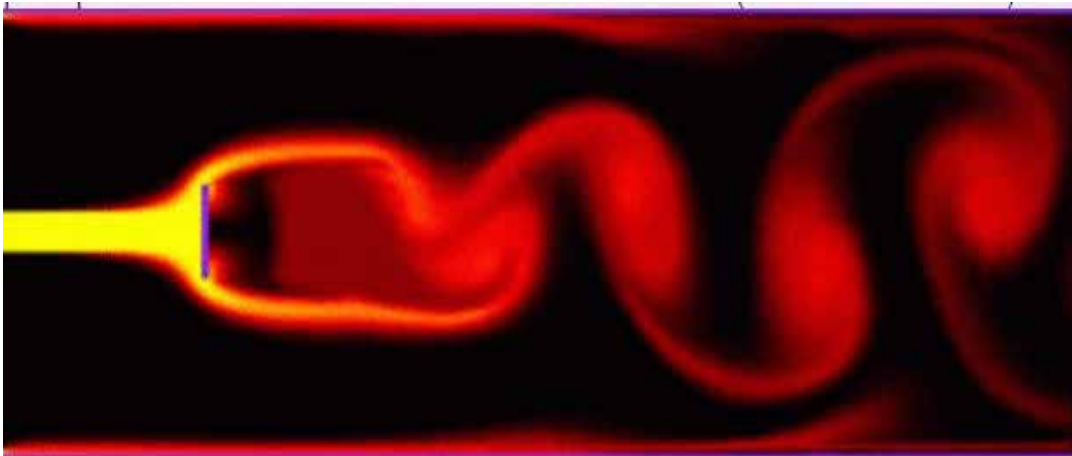


Figura 50. Generación del fenómeno de Calle de Vórtices Von Kármán en el Vortex.

Fuente: Vortex.

Los prototipos actuales alcanzan más de 100 metros, según Suriol, el cual indica que cuanto mayor sea la altura, mayor será su rendimiento.

#### **Ventajas del uso de Vortex Bladeless:**

Además de abaratar costes, esta tecnología presenta otras características beneficiosas frente a otros modelos, tales como que estos pueden generar energía en un amplio rango de velocidades del viento, mayor que el de los aerogeneradores convencionales. En concreto, el dispositivo arranca a partir de una velocidad de viento de un metro por segundo, la cual hay que indicar que es menor a la requerida por un molino tradicional.

Por otra parte se tiene que la forma cilíndrica de la estructura también elimina la necesidad del estudio de la orientación del aerogenerador en dirección a la corriente de viento, como debe hacerse con los molinos con palas, aunque, ante las mismas condiciones, la energía que produce Vortex sería aproximadamente un 30% menor a la que genera un molino tradicional.

Otro factor diferenciador es que debido a que la ubicación del alternador y del centro de gravedad, es tan bajo que se ve reducido la cimentación en un 50%. (Ver figura 51).



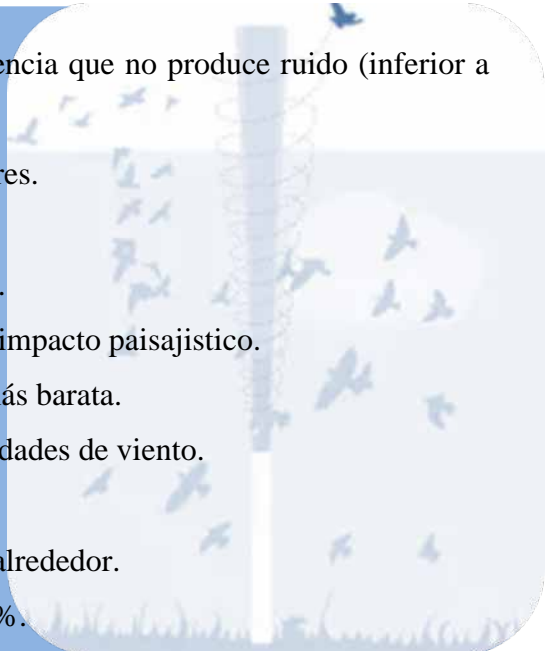
Figura 51. Reducción de la cimentación del aerogenerador.

Fuente: Vortex.

Por otro lado, el diseño que poseen hacen que sean menos invasivos en el paisaje natural y la ausencia de palas lo hace menos peligroso para las aves. Tampoco generan la producción de ruido, lo que reduce aún más su impacto medioambiental.

Resumiendo todo estos beneficios se tiene que algunos de ellos son:

- ÿ Es silencioso ya que oscila a una frecuencia que no produce ruido (inferior a 20 Hz).
- ÿ No producen interferencias con los radares.
- ÿ Menor coste de materiales y montaje.
- ÿ Costes de mantenimiento más reducidos.
- ÿ Reduce el impacto medioambiental y el impacto paisajístico.
- ÿ Más eficiente. Produce energía limpia más barata.
- ÿ Funciona ante un mayor rango de velocidades de viento.
- ÿ Ocupan menos superficie.
- ÿ Las aves no sufren riesgos al volar a su alrededor.
- ÿ Se reduce la huella de carbono en un 40%.



### **Importancia del estudio de los vientos en la sostenibilidad:**

#### **Energía Eólica:**

Sin duda alguna el viento es una fuente abundante e inagotable, la cual se encuentra disponible en muchos lugares del mundo, por lo que esta energía es una fuente válida en lo que respecta a energías renovables, obtenida por medio de esta variable meteorológica.

Es por ello que, en términos simples, podemos indicar que la energía eólica consiste en convertir la energía producida, producto del movimiento de las palas de un aerogenerador, que son impulsadas por el viento, en energía eléctrica.

**Ventajas del uso de la energía eólica para la generación de electricidad:**

ÿ Es una fuente de energía renovable, por lo que esta no genera contaminación y es inagotable.

ÿ Reduce el uso de combustibles fósiles, que dan origen a las emisiones de efecto invernadero, que a su vez, causan el calentamiento global.

ÿ Es una energía autóctona, disponible prácticamente en la totalidad del planeta, lo que contribuye a reducir las importaciones energéticas y a crear riqueza además de empleo de forma local.

ÿ No emiten sustancias tóxicas ni contaminantes, que pueden ser muy perjudiciales para el medio ambiente y para el ser humano, estas sustancias tóxicas pueden acidificar los ecosistemas terrestres, acuáticos y de igual manera pueden llegar a corroer de cierta manera los edificios.

ÿ No genera residuos ni contaminación del agua, a su vez existe cierta diferencia de los combustibles fósiles y las centrales nucleares, ya que la energía eólica tiene una de las huellas de consumo de agua más bajas, lo que la convierte en clave para la preservación de los recursos hídricos.

Por todo lo mencionado, la producción de electricidad por medio del empleo de este tipo de energía y su uso de forma eficiente, contribuyen al desarrollo sostenible. (Ver Figura 52).



Figura52. Turbinas de Viento – Parque Eólico.

Si bien es cierto las fuentes de energía renovables, como la solar y la eólica, representaron casi dos tercios de la nueva capacidad neta de generación eléctrica de todo el mundo en 2016, con aproximadamente 165 gigavatios (GW) de potencia y se espera que la capacidad de la energía renovable se amplíe en más de 920 GW entre 2017 y 2022, la energía eólica suministra actualmente más del 3% del consumo mundial de electricidad y se espera que para 2020 se supere el 5% (Ver figura 47 y 48). A más largo plazo (2040), la Agencia Internacional de la Energía prevé que la energía del viento pueda cubrir el 9% de la demanda eléctrica mundial y más del 20% en Europa.

En efecto como se puede ver, la energía eólica es, junto con la solar, una de las fuentes renovables más utilizadas del mundo, debido a su abundancia y relativamente sencilla colecta, como se ha indicado con anterioridad, pero se contraponen dos inconvenientes que le restan cierto empuje a esta forma de energía.

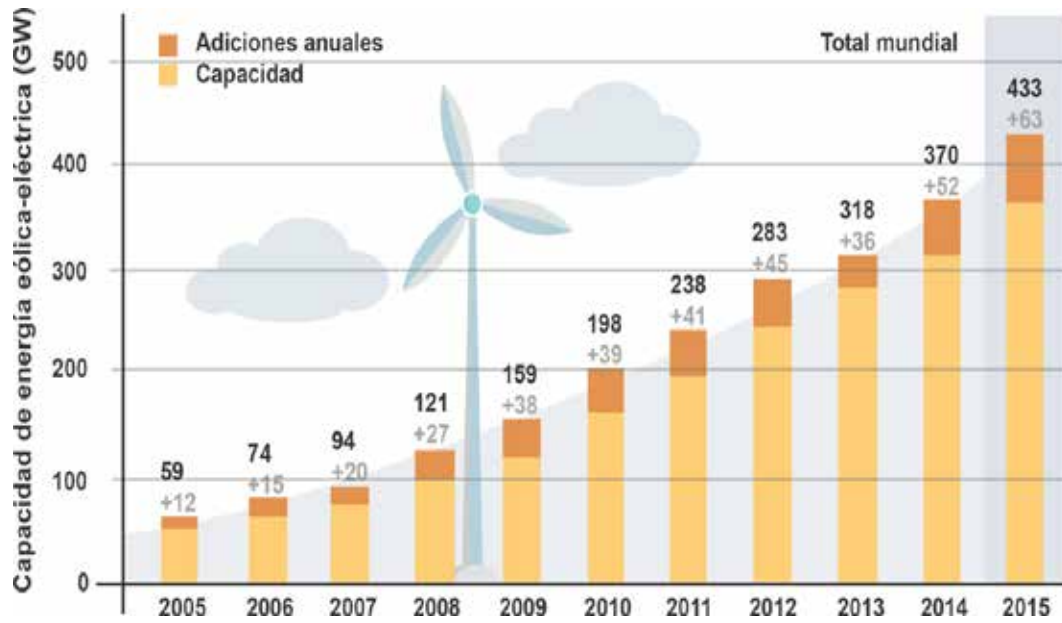


Figura 53. Capacidad mundial de energía eólica-eléctrica y adiciones anuales, 2005 a 2015. Año: 2016.

Fuente: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-78582017000100105](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582017000100105)

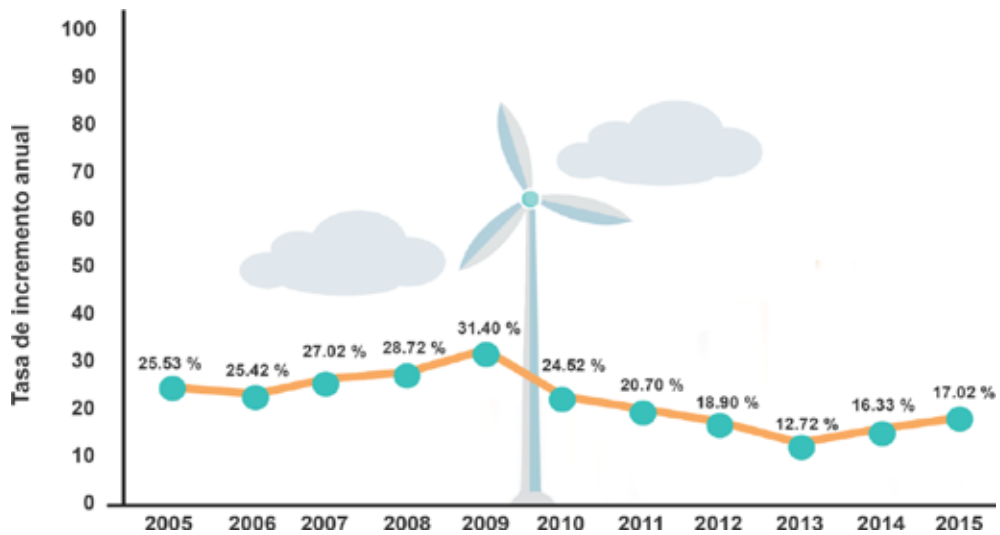


Figura 54. Tasa de incremento anual de la capacidad mundial de energía eólica-eléctrica. Año: 2016.

Fuente: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-78582017000100105](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582017000100105)

### **Factores que determinan la ubicación de las turbinas de viento:**

Como primero punto a considerar como inconveniente se tiene que el viento, se trata de una fuente inconstante, intermitente además de ser relativamente imprevisible, por lo que no es posible estar completamente seguro de cuándo soplará el viento, es por ello que los parques eólicos se planifican buscando aquellos puntos donde los vientos son más habituales, como son las zonas costeras con acantilados.

Además como segundo punto hay que considerar que los parques eólicos son grandes infraestructuras, cuya instalación no es fácil, y generalmente estos se encuentran en lugares remotos y de difícil acceso.

Según Ken Cadeira, de la Universidad de Stanford asegura lo siguiente, “Hay suficiente energía en el viento de las grandes alturas como para dar energía a toda la civilización cien veces”, esto se ubica en las conclusiones obtenidas de un estudio que se llevó a cabo, en donde se analizó el sector de la energía eólica, específicamente en Estados Unidos.

Si bien es cierto, muchos apuestan por una mejor ubicación de los molinos a mar adentro, donde se tiene que el viento es más constante y no entorpecen de cierta manera el paisaje, sin embargo, esto trae como consecuencia, que los costes de instalación se multipliquen considerablemente.

Es por ello que una empresa fundada por Ben Glass y Adam Rein, antiguos estudiantes del MIT, proponen una idea distinta, sorprendente por su simplicidad y osadía, la cual consiste en el uso de molinos flotantes. Es por ello que AltaerosEnergies quiere aprovechar esos vientos de las alturas, mediante el uso de su producto, bautizado como BouyantAirborne Turbine o BAT. En pocas palabras se trata de una turbina que consta de tres aspas en la que la cobertura es hinchable, es por ello que se infla con helio para poder mantener el dispositivo en el aire, de modo que pueda obtener los vientos más altos y recogiendo a su vez toda su energía (Ver Figura 55). Como podemos ver parece una propuesta extravagante, pero según los

expertos es una idea sólida que puede dar una solución sencilla a una problemática importante.

Además de lo anterior expuesto, se debe indicar que este globo está unido al suelo por medio de tres cables que lo anclan a la estación de tierra donde se procesa la energía recogida por el aerogenerador y además de controlar el dispositivo. El sistema se puede trasladar fácilmente con el uso de un camión, de un sitio a otro, sin necesidad de infraestructura adicional.

Se debe destacar que la forma de la carcasa hinchable se debe a que esta, favorece la entrada del aire directo a la turbina, y la lona con la que está confeccionada, cuenta con sensores de presión para detectar posibles fugas. Está equipada con sistemas de iluminación y de señales con la función de que sea distinguible durante las noches, aunque su altura no supondría un problema para la aviación comercial. Anexado a ello, en caso de avería o de inclemencias meteorológicas, las cuales puedan poner en peligro el equipo, el sistema de anclaje se repliega, bajando la turbina a nivel del suelo y sujetando todo el dispositivo, a la espera de que las condiciones vuelvan a ser óptimas para elevar este molino flotante y comenzar a operar nuevamente.

BAT puede flotar a hasta 600 metros sobre el suelo, donde genera hasta el doble de electricidad que turbinas similares montadas sobre torres tradicionales, es cierto que su tamaño es menor, pero a esa altura los vientos que se presentan son más fuertes y constantes, por lo que su potencial es enorme. A este dispositivo aéreo se le pueden incorporar otro tipo de equipamientos, tales como lo serían sensores meteorológicos, emisores de red o equipos de telecomunicaciones de forma que provean de servicios añadidos a las regiones sobre las que flotan; BAT puede llevar la conectividad a regiones remotas y desconectadas, a la vez que proporciona una fuente de energía barata y fiable, llevando la electricidad a comunidades rurales, donde no resulta rentable instalar un parque eólico, incluso podría servir para proveer de electricidad tras un desastre natural en el que las infraestructuras hayan quedado dañadas gracias a su movilidad, facilidad de transporte y precio asequible.



Figura 55. BouyantAirborne Turbine o BAT.

**Impactos generados por el uso de la energía eólica:**

Su uso trae como repercusión un fuerte impacto paisajístico y son visibles desde largas distancias; la altura promedio de las turbinas de viento de las plantas grandes oscila entre 50 y 80 metros con cuchillas giratorias que se elevan verticalmente por otros 40 metros, pero es importante enfatizar que el impacto del paisaje no es una desventaja para todos.

Por otra parte, se tiene que los parques eólicos pueden tener un impacto negativo en la avifauna local, especialmente entre las aves rapaces nocturnas, de tal forma que el impacto producido en la avifauna viene dictado por las paletas giratorias que pueden moverse hasta una velocidad de 70 km por hora, donde las aves en cuestión no son capaces de reconocer visualmente las cuchillas que se mueven tan rápido chocando con ellas fatalmente.

### **El árbol del viento:**

Esta es otra innovadora fuente de energía eólica en este caso dirigida especialmente para las ciudades, creado por ingenieros franceses. El árbol del viento es una turbina eólica que tiene la particularidad de que posee la forma, como su nombre lo indica, de un árbol.

Se compone de una estructura de acero de 10 metros de alto y 7,5 de ancho, cuyas ramas contienen 63 hojas de material plástico muy resistente, que capturan el viento y transfieren la energía a través de un generador situado en la base de cada una de ellas. (Ver figura56).



Figura 56. Árbol del viento y sus hojas.

Fuente: <https://ecoinventos.com/el-arbol-del-viento-turbinas-silenciosas-para-ciudades/>

Los retos del proyecto han sido muy diversos, tenían que conseguir que cada hoja artificial capturara el viento disponible con la máxima eficiencia, de manera que su forma, tamaño y orientación eran cruciales. También determinar el número óptimo de hojas y su ubicación en la estructura, para que no interfirieran unas con otras. Diseñar una pequeña pero potente planta energética en la base de cada hoja, de forma

que la rotación provocada por el viento pudiera ser transformada en electricidad, constituía otro importante reto. Así como calcular la óptima velocidad de rotación para maximizar la cantidad de potencia generada. La resistencia de las hojas y de la estructura ante las fuerzas provocadas por el viento también se tuvo en cuenta a la hora de diseñar el prototipo. (Ver figura 57).

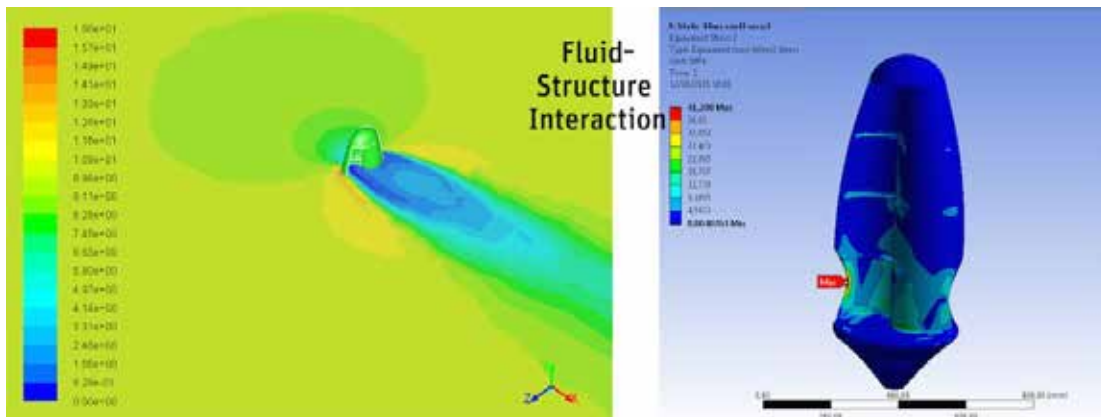


Figura 57. Estudio de la interacción del viento sobre las hojas del árbol del viento.

Fuente: <https://ecoinventos.com/el-arbol-del-viento-turbinas-silenciosas-para-ciudades/>

### **Ventajas del uso de árboles del viento:**

- ÿ Pueden “plantarse” en cualquier parque o calle sin romper la estética de la ciudad.
- ÿ Capturara el viento disponible con la máxima eficiencia.
- ÿ Hecho de plástico ABS, muy resistente al impacto.
- ÿ Un solo árbol de viento es capaz de generar 3kW de potencia instantánea y unos 1900 kWh en un año.

### **Importancia de la temperatura en el estudio en la sostenibilidad:**

#### **Jardines verticales para reducir el consumo energético en edificios:**

Antonio Franco, profesor de la Universidad de Sevilla, que ha patentado junto a dos colegas, un sistema de acondicionamiento bioclimático de edificios, en donde se hace uso de jardines verticales y techos verdes, se debe destacar que un jardín vertical puede llegar a reducir la temperatura de un edificio has 10°C. Los profesores, que han

creado la empresa de base tecnológica Terapia Urbana, aseguran que pueden producir un ahorro en energía eléctrica para refrigeración y ventilación de hasta el 5% por cada grado centígrado que el jardín logra reducir. (Ver figura 56).



Figura 58. Acondicionamiento bioclimático de edificios.

Fuente: <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Jardines-verticales-para-reducir-el-consumo-energetico-en-edificios>.

Retomando lo anterior expuesto, se tiene entonces un sistema mediante estructuras ajardinadas verticales que se inspira en el primer jardín vertical de España, situado en el edificio Caixa Fórum de Madrid y obra del francés Patrick Blanc. El

sistema pretende reducir el consumo energético producido por las instalaciones de climatización y ventilación de los edificios.

Según Innovapress, el servicio de información del Programa de Divulgación Científica de Andalucía, "la principal aportación de esta investigación a la jardinería vertical son los sistemas activos, que consisten en hacer pasar una corriente de aire a través de los jardines que actúa como mecanismo de climatización para reducir la temperatura de los edificios". Lo explica uno de los autores de la patente, Antonio Franco: "la estructura ajardinada actúa como intercambiador de calor y masas, disminuyendo la temperatura y aumentando la humedad y de forma complementaria, gracias al componente vegetal, actúa como biofiltro depurador de la corriente que lo traspasa". Según Franco, este biofiltro natural "retiene partículas exteriores como el polen, que pueden producir alergias, o gases contaminantes y nocivos para la salud como el óxido de nitrógeno o el dióxido de carbono, emitidos, por ejemplo, por los motores de los coches".

El funcionamiento del sistema ahora patentado se basa, pues, en hacer pasar el aire caliente del exterior o interior del edificio a través del jardín vertical. Este sistema activo permite que, al mismo tiempo, circule agua por el sustrato donde se desarrolla la vegetación, que absorbe el calor del aire al evaporarse, este proceso es conocido como refrigeración evaporativa. De esta forma los niveles de humedad, temperatura y calidad del ambiente interior del edificio se mantienen óptimos y equilibrados. Hay que decir que este sistema es rentable, por tanto, en lugares donde la temperatura es muy alta, por ejemplo, al tener una temperatura exterior que pueda llegar a los 40°C, con el proceso natural de evapotranspiración que produce el jardín vertical activo los puede reducir esta temperatura hasta los 30°C. Después, la maquinaria de refrigeración convencional del edificio puede dejar el ambiente a una temperatura adecuada, este menor salto térmico que tiene que realizar dicha máquina se traduce en ahorro energético, dice el investigador.

En concreto, y según los investigadores, estos sistemas pueden producir un ahorro en energía eléctrica para refrigeración y ventilación de hasta el 5% por cada

grado centígrado que el jardín logra reducir. "En nuestras mediciones de laboratorio, en los prototipos ensayados tenemos registrados hasta cinco y seis grados de disminución de temperatura con aire interior, pudiendo llegar a reducir en diez si se toma del exterior", concluye el profesor Franco. El primer prototipo de jardín vertical activo en España está instalado en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica (ETSIA) de Sevilla.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Caso, S. y Abou-Said, W. (2008). *Presión atmosférica*. Trabajo de grado. Universidad Católica Andrés Bello, Venezuela.
- Concepto definiciones. (2014).[Página Web en Línea]. Disponible en: <http://conceptodefinicion.de/presion-atmosferica/>
- Culturizando. (2018). [Página Web en Línea]. Disponible en: <http://culturizando.com/la-nota-curiosa-que-se-le-llama-presion/>
- El País, Periódico Global. (2017).[Página Web en Línea]. Disponible en: <https://weather.com/es-ES/espana/tiempo/news/espana-temperatura-11102017>
- ERENOVABLE. (2018). *¿Qué es la energía renovable?*. Recuperado el 22 de Julio de 2018, de <https://erenovable.com/como-funcionan-los-paneles-solares/>
- Gomariz, F. (2016). *Energía renovable*. Trabajo de grado. Universidad de Murcia, España.
- Marimar, M. (24 de Abril de 2018). *Energía eólica*. Recuperado el 22 de Julio de 2018, de ERENOVABLE: <https://erenovable.com/aerogeneradores-eolicos/energia-eolica/>
- Meteorología en red. (2016).[Página Web en Línea]. Disponible en: <https://www.meteorologiaenred.com/presion-atmosferica.html>
- Moore, W. L, Tarafdar, M. R, y Gilbrich, W. H. (1975). *El clima y el tiempo*. Paris: Unesco.
- Navarra.es.[Página Web en Línea]. Disponible en:<http://meteo.navarra.es/definiciones/insolacion.cfm>
- Alonso, A. L. (2008). *El clima y el tiempo*. Coruña.

ArcMap. (s.f.). . Recuperado el 20 de Octubre de 2018, de Calculo de radiación solar: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-solar-radiation-is-calculated.htm>

Aurelio Beltrán, M. M. (2017).

Zacatecas.

Censolar. (s.f.). Recuperado el 03 de Septiembre de 2018, de Software CenSOL5: <http://www.censolar.org/censol50.htm>

Energética futura. (08 de Junio de 2010). Recuperado el 2018, de Cuánta energía se puede extraer de la radiación solar: <https://energeticafutura.com/blog/cuanta-energia-se-puede-extraer-de-la-radiacion-solar/>

Hidalgo, L. G. (2017).

Zulia: Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia.

Moore, W. L., Tarafdar, M. R., & Gilbrich, W. H. (1975).

Paris: Unesco.

Morillo, J. A. (2017). . Recuperado el 09 de Diciembre de 2018, de Software BAROGRAPH: <http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-16017>

Ortiz, O. J., & Tauta, J. F. (27 de Octubre de 2008). Efecto de la radiación ultravioleta en las propiedades mecánicas y dinámicas de una mezcla asfáltica. Bogotá, Colombia.

. (2018). Recuperado el 12 de Octubre de 2018, de Objetivos del Desarrollo Sostenible: <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.htm>

Simbaqueva, I. R. (2009).

Bogotá.

Trezza, R. (2017).

(s.f.). Recuperado el 2018, de Cómo calcular la carga del viento:  
<https://es.wikihow.com/calcular-la-carga-del-viento>

Zapata, J. A. (15 de Junio de 2015). . Recuperado el 22 de Junio de  
2018, de <http://estructurando.net/2015/06/15/ingenieria-del-viento-o-como-no-salir-volando/>

