



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**CONSIDERACIONES BÁSICAS SOBRE PARÁMETROS
METEOROLÓGICOS Y SU IMPORTANCIA EN EL DISEÑO,
CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA**

Michael Vinicio Abac Prado

Asesorado por el Ing. José Marcos Mejía Son

Guatemala, enero de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CONSIDERACIONES BÁSICAS SOBRE PARÁMETROS METEOROLÓGICOS Y SU
IMPORTANCIA EN EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE PROYECTOS
DE INFRAESTRUCTURA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MICHAEL VINICIO ABAC PRADO

ASESORADO POR EL ING. JOSÉ MARCOS MEJÍA SON

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, ENERO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paíz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel López Juárez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

CONSIDERACIONES BÁSICAS SOBRE PARÁMETROS METEOROLÓGICOS Y SU IMPORTANCIA EN EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 04 de noviembre de 2010.

Michael Vinicio Abac Prado

Guatemala, 05 de Mayo de 2011.

Licenciado
Manuel Guillen Salazar
Jefe del Departamento de Planeamiento
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Estimado Licenciado Guillen.

Por medio de la Presente, me permito informarle que he revisado el trabajo de tesis realizado por el estudiante: **Michael Vinicio Abac Prado**, titulado “**Consideraciones Básicas Sobre Parámetros Meteorológicos y su Importancia en el Diseño, Construcción y Operación de Proyectos de Infraestructura**”, previo a optar el título de Ingeniero Civil, habiéndole encontrado completamente satisfactorio.

Sin otro particular, me suscribo de usted, atentamente.



Ing. José Marcos Mejía Son.
Asesor.





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
18 de mayo de 2011

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ing. Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **CONSIDERACIONES BÁSICAS SOBRE PARÁMETROS METEOROLÓGICOS Y SU IMPORTANCIA EN EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Michael Vinicio Abac Prado, quien contó con la asesoría del Ingeniero José Marcos Mejía Son.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Lic. Manuel María Guillén Salazar
Jefe del Departamento de Planeamiento



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
PLANEAMIENTO
USAC

/bbdeb.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. José Marcos Mejía Son y del Jefe del Departamento de Planeamiento Lic. Manuel María Guillén Salazar, al trabajo de graduación del estudiante Michael Vinicio Abac Prado, titulado **CONSIDERACIONES BÁSICAS SOBRE PARÁMETROS METEOROLÓGICOS Y SU IMPORTANCIA EN EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DIRECTOR
FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, enero de 2012.

/bbdeb.

Más de **130** Años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **CONSIDERACIONES BÁSICAS SOBRE PARÁMETROS METEOROLÓGICOS Y SU IMPORTANCIA EN EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA**, presentado por el estudiante universitario **Michael Vinicio Abac Prado**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 17 de enero de 2012



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme sabiduría y permitirme este triunfo.
Mis padres	Julio Aníbal Abac Calel y Miriam Yolanda Prado de Abac, por su ejemplo y apoyo incondicional.
Mis hermanos	Julio y Lester Abac Prado, por su cariño fraternal.
Mis tíos y tías	Por su cariño incondicional.
La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por permitirme culminar mis estudios a nivel superior.
Mi patria	Guatemala.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por darme la sabiduría, entendimiento, paciencia, fortaleza y perseverancia para alcanzar esta meta y culminar con éxito esta etapa de mi vida. Gracias por todos los dones que me has dado y por todas las bendiciones derramadas a lo largo de mi vida.
- Mis padres** Por todo el esfuerzo y sacrificio realizado para que pueda salir adelante y cumplir mis sueños; por todas sus enseñanzas, valores y principios inculcados en mi persona. Que Dios los bendiga siempre y me permita corresponderlos de igual manera.
- Mis hermanos** Por ser mi buena compañía a lo largo de estos años, por estar siempre juntos y apoyarme en todo.
- Ing. José Mejía** Por su valiosa asesoría.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. PROYECTOS DE INGENIERÍA	1
1.1. Definición	1
1.2. Características	1
1.3. Fases de proyectos.....	3
1.3.1. Planeación	4
1.3.2. Diseño	4
1.3.3. Construcción	5
1.3.4. Operación.....	5
1.4. Tipos de proyectos.....	6
1.4.1. Edificación.....	7
1.4.2. Ingeniería de construcción	7
1.4.3. Construcción institucional.....	7
1.4.4. Construcción industrial	8
1.5. Criterios de diseño.....	8
2. PARÁMETROS METEOROLÓGICOS	11
2.1. Definiciones	11
2.2. Generalidades	11

2.3.	Estación meteorológica	13
2.3.1.	Definición	13
2.3.2.	Generalidades.....	14
2.3.3.	Clasificación de estaciones meteorológicas.....	15
2.3.4.	Criterios de localización y emplazamiento de las estaciones meteorológicas.....	16
2.3.5.	Criterios para la instalación de estaciones meteorológicas.....	18
2.3.6.	Estaciones meteorológicas comerciales	19
2.3.7.	Equipos de estaciones meteorológicas	19
2.3.7.1.	Requisitos y normas sobre instalación del instrumental meteorológico	26
2.3.7.2.	Emplazamiento y exposición de los instrumentos.	26
3.	CLIMA Y PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA	27
3.1.	Definición.....	27
3.2.	Generalidades	28
3.3.	Zonas climáticas.....	30
3.3.1.	Clima de Guatemala	32
3.3.1.1.	Las planicies del norte	32
3.3.1.2.	La franja transversal del norte.....	32
3.3.1.3.	La meseta y los altiplanos.....	33
3.3.1.4.	La bocacosta.....	33
3.3.1.5.	Planicie costera del Pacífico	34
3.3.1.6.	Zona oriental.....	34
3.4.	Criterios climáticos de diseño.....	35
3.4.1.	Fases del proyecto	35
3.4.1.1.	Diseño.....	36

3.4.1.2.	Planificación	36
3.4.1.3.	Construcción	37
3.4.1.4.	Operación y mantenimiento	38
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	43
4.1.	Estaciones meteorológicas	44
4.2.	Parámetros meteorológicos	45
4.2.1.	Análisis de información.....	46
4.2.1.1.	Temperatura.....	46
4.2.1.2.	Lluvia.....	50
4.2.1.3.	Humedad relativa	54
4.2.1.4.	Brillo solar	55
4.2.1.5.	Radiación solar.....	57
4.2.1.6.	Viento	58
4.2.1.7.	Presión atmosférica.....	61
4.2.1.8.	Evaporización.....	63
4.2.1.9.	Nubosidad	66
	CONCLUSIONES	67
	RECOMENDACIONES.....	69
	BIBLIOGRAFÍA.....	71

INDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Desarrollo sostenible	2
2. Ciclo de vida de los proyectos	3
3. Torre meteorológica de superficie	14
4. Estación meteorológica automática típica	16
5. Estaciones meteorológicas de Guatemala	17
6. Estación meteorológica comercial	19
7. Clasificación climática mundial según Koppen	27
8. Impacto del clima en la infraestructura vial.....	29
9. Zonas climáticas de Guatemala	31
10. Efectos del clima en proyectos de infraestructura	38

TABLAS

I. Diferencias entre meteorología, climatología y clima	13
II. Características meteorológicas estaciones meteorológicas evaluadas....	17
III. Equipos estación meteorológica.....	21
IV. Clasificación climática mundial según Koppen.....	30
V. Parámetros meteorológicos/fenómeno natural y su incidencia en los principales proyectos de infraestructura	41
VI. Resumen información disponible (parámetros meteorológicos). Estaciones meteorológicas evaluadas	44
VII. Resumen información disponible por año. Estaciones meteorológicas evaluadas.....	45

VIII.	Resultados temperatura media 2001-2010	47
IX.	Resultados temperatura media valores promedio anual °C / año registros mayor y menor	47
X.	Resultados temperatura máxima 2001-2010	48
XI.	Resultados temperatura máxima valor promedio mensual (°C) registros mayor y menor / mes.....	48
XII.	Resultados temperatura mínima 2001-2010	49
XIII.	Resultados temperatura mínima valor promedio mensual (°C) registros mayor y menor / mes.....	50
XIV.	Resultados cantidad de lluvia 2001-2010	51
XV.	Resultados cantidad total de lluvia promedio mensual (mm) registros mayor y menor / mes.....	52
XVI.	Resultados días de lluvia 2001-2010	53
XVII.	Resultados días de lluvia valor promedio mensual (número total) registros mayor y menor / mes.....	53
XVIII.	Registros humedad relativa 2001-2010	54
XIX.	Humedad relativa valores promedio mensual (%) registros mayor y menor / mes	55
XX.	Resultados brillo solar 2001-2010.....	56
XXI.	Resultados brillo solar valor promedio mensual (Horas y décimos) registros mayor y menor / mes.....	56
XXII.	Resultados radiación solar 2001-2010.....	57
XXIII.	Resultados radiación solar valor promedio mensual (Cal/cm ² /min) registros mayor y menor / mes.....	58
XXIV.	Resultados velocidad del viento 2001-2010.....	59
XXV.	Resultados velocidad del viento valor promedio mensual registros mayor y menor / mes	60
XXVI.	Resultados dirección del viento 2001-2010	61
XXVII.	Resultados presión atmosférica 2001-2010.....	62

XXVIII.	Presión atmosférica valor promedio mensual (mm Hg) registros mayor y menor / mes.....	63
XXIX.	Resultados evaporización tanque intemperie 2001-2010.....	64
XXX.	Evaporización tanque intemperie valor promedio mensual (mm) registros mayor y menor / mes	65
XXXI.	Resultados evaporización sombra 2001-2010	66
XXXII.	Resultados nubosidad 2001-2010	66

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área
cm	Centímetro
°C	Grado Celsius
h	Hora
kg	Kilogramo
km	Kilómetro
m	Metro
m²	Metro cuadrado
msnm	Metros sobre nivel del mar
%	Porcentaje
T	Tonelada
u	Unidad

GLOSARIO

Amplitud de la temperatura	Diferencia entre las temperaturas máxima y mínima o entre las temperaturas medias más altas y más bajas.
Año hidrológico	División anual que principia en el mes en el que se considera que empieza la época de lluvias o invierno en los diferentes países. En el caso de Guatemala, el año hidrológico inicia el 1 de mayo y finaliza el 30 de abril del año siguiente.
Área de influencia	Es el espacio sobre el cual inciden los impactos directos e indirectos de un proyecto o actividad.
Balance hidrológico	Balance de la entrada, salida y contenido de agua en una unidad hidrológica como por ejemplo una cuenca de desagüe, un lago, un embalse, un sistema de regadío, una napa freática o una zona determinada del subsuelo .
Calor	Es una forma de energía producida por el movimiento molecular de los cuerpos. El calor no es visible, pero puede medirse y ver sus efectos. El frío no existe en realidad, puesto que es la ausencia de calor.

Cambio climático	En un sentido más generalizado, el término de cambio climático abarca todas las formas de inconsistencia climática, haciendo caso omiso de su naturaleza estadística o sus causas físicas. Se usa frecuentemente para señalar un cambio a otro estado climático caracterizado por diferentes promedios de las variables atmosféricas.
Cauce	Conducto abierto, creado natural o artificialmente, el cuál contiene agua en movimiento periódico o continuamente.
Caudal	Magnitud del flujo de una corriente en un lugar determinado de su curso, o del flujo que mana de una fuente. Se mide por el volumen de agua que en la unidad de tiempo pasa por la sección transversal de la corriente o es vertida por la fuente. En un río el caudal suele expresarse en metros cúbicos por segundo
Escorrentía	Parte de la precipitación que se manifiesta más tarde como corrientes de superficie. Las unidades de escorrentía de uso más corriente son: m^3/s , altura en milímetros sobre la cuenca por día, mes o año; millón de litros por día ($m\ l / d$); pie cúbico por segundo (p^3/s); altura en pulgadas sobre la cuenca, por día, mes o año; millón de galones por día ($m\ g / d$).

Estación de aforo	Estación para la medida regular del caudal de una corriente, de acuerdo con las instalaciones y métodos empleados para medir el caudal.
Estación hidrológica	En un sentido más amplio esta denominación incluye tanto a las estaciones fluviométricas como a las limnimétricas, no obstante, generalmente, la denominación hidrológica es sinónima de fluviométrica.
Fluctuación climática	Una inconstancia climática que consiste en una forma cualquiera de cambio sistemático, sea regular o irregular, excepto tendencias y discontinuidades. Se caracteriza por dos máximas (o mínimos) y un mínimo (o máximo), por lo menos, incluidos los correspondientes a los puntos finales del registro.
Humedad absoluta del aire	Masa del vapor de agua contenido en un volumen unitario de aire. Generalmente la humedad absoluta se expresa en gramos de vapor por metro cubico de aire.
INSIVUMEH	Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
Intensidad de la precipitación	Cantidad de agua recogida durante un intervalo de tiempo dado, por unidad de superficie.

Recurso natural	Es el elemento natural susceptible de ser aprovechado por el ser humano.
Temporada seca	Periodo caracterizado por la escasez de las precipitaciones.
USAID	Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.
Variación climática	Una fluctuación o componente de la misma, cuya escala temporal característica es suficientemente larga para manifestarse como inconstancia apreciable en sucesivos valores normales (promedios de 30 años) de una variable. Este término se usa frecuentemente para indicar las variaciones naturales comunes de un año al siguiente o cambios de una década a la siguiente
Zona de confort	Son las condiciones dadas de temperatura y humedad relativa, bajo las que se encuentra confortable la mayor parte de los seres humanos. Estas condiciones oscilan entre 22°C y 27°C de temperatura y entre el 40% al 60% de HR.

RESUMEN

El sector de la construcción juega un rol importante dentro de la economía de un país, sus actividades inciden en el Producto Interno Bruto (PIB), y es fuente generadora de empleo. La durabilidad de las obras debe ser prioritaria en cualquier tipo de proyecto, en la concepción del diseño y etapa de preinversión; es necesario considerar el sitio y el entorno, tamaño, localización, orientación, forma y diseño de las estructuras, el tipo de materiales constructivos y acabados y requerimientos de los usuarios directos e indirectos.

Los aspectos climáticos son influyentes en su desempeño durante la vida útil; cuando las condiciones meteorológicas se vuelven extremas la infraestructura es menos fiable y segura, lo que provoca problemas e inconvenientes. Por esta razón, los ingenieros civiles deben usar valores que sean representativos al momento de diseñar sus proyectos, mediante una eficaz y eficiente planificación y programación.

En este trabajo se evaluó la importancia de los parámetros meteorológicos en el diseño, construcción y operación de los proyectos de infraestructura, en especial las obras de infraestructura en Guatemala. El cambio climático afecta la eficacia, seguridad y fiabilidad de la infraestructura existente y el diseño de las nuevas construcciones, por lo que el hecho de contar con datos climáticos sólidos es fundamental para adoptar buenas decisiones; los impactos de los fenómenos meteorológicos y del cambio climático en la infraestructura son importantes, por consiguiente es fundamental disponer de información para reducir riesgos y mejorar su desempeño.

OBJETIVOS

General

Identificar los parámetros ambientales que afectan los procesos de diseño, construcción y operación de los proyectos de infraestructura, con un buen rendimiento, altos estándares de calidad y rentabilidad adecuada, ofreciendo beneficios a la comunidad.

Específicos

1. Identificar los principales parámetros meteorológicos utilizados en el diseño de proyectos de ingeniería.
2. Categorizar los parámetros meteorológicos identificados en este estudio, de acuerdo a los criterios establecidos.
3. Destacar la importancia de la planeación adecuada y oportuna de los proyectos de infraestructura, considerando el cambio climático.
4. Realizar un análisis de los datos existentes en el Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), sobre los parámetros meteorológicos de interés durante el presente decenio en cinco estaciones meteorológicas: E-13 Escuintla, E-15 INSIVUMEH, E-16 Huehuetenango, E-21 Izabal, E-26 Jutiapa.
5. Generar un documento que permita al interesado contar con información valiosa y actualizada sobre el tema.

INTRODUCCIÓN

En el diseño de proyectos de infraestructura son de vital importancia los parámetros meteorológicos que se utilicen, estos deben ser actuales y estar basados en un sistema de registro y levantamiento de datos de estaciones meteorológicas. En Guatemala el Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), es el ente responsable de generar esta información.

El capítulo uno incluye aspectos teóricos sobre los proyectos de ingeniería como su definición, tipos, características, fases y criterios de diseño de los proyectos. En el capítulo dos, se presentan los parámetros meteorológicos, la clasificación, criterios de localización y emplazamiento de las estaciones meteorológicas.

Dentro del capítulo tres, se presentan conceptos sobre el clima y su relación con los proyectos de infraestructura, entre los que se pueden mencionar definición, generalidades, así como las zonas climáticas de Guatemala. El capítulo cuatro, contiene el análisis de los resultados obtenidos sobre las estaciones y parámetros meteorológicos evaluados.

Al final se incluyen las conclusiones y recomendaciones productos del presente trabajo, esperando que sean de interés para las personas y entidades que se dediquen a la investigación y profundización del tema, que les sirva de auxiliar y mejoren su contenido. También puede ser usado por profesionales, docentes y estudiantes en los cursos donde aplique.

1. PROYECTOS DE INGENIERÍA

1.1. Definición

Proceso por medio del cual un problema se convierte en una inversión física (construcción de obras de infraestructura, carreteras, escuelas puentes y centros de salud, drenajes etc.) o en una acción organizacional (consultorías, capacitaciones, investigaciones, etc.) que potencialicen el desarrollo y la calidad de vida del grupo objetivo.

1.2. Características

Los proyectos de ingeniería no son actividades de rutina, sus parámetros de definición y control (objeto de proyecto; presupuesto; programación, etc.) exigen la participación de diversas áreas de la sociedad para minimizar los riesgos (financieros, económicos, imagen de la empresa, expansiones / adecuaciones futuras, impacto ambiental, entre otros) que estos provocan. El proyecto surge de la observación de una necesidad insatisfecha, es decir, de un adecuado diagnóstico de la realidad, tiende a satisfacer en forma parcial o total esa necesidad, por lo que una acertada definición del proyecto radica en la consistencia y coherencia entre la necesidad insatisfecha detectada en el diagnóstico y la solución propuesta a través del proyecto; su ciclo de vida se compone de varias fases características no siempre bien diferenciadas, pero que deben ser analizadas por separado.

Cada proyecto de ingeniería civil es único; recibe de modo exclusivo su planeamiento, y programación, desarrolla sus etapas de investigación y diseño,

requiere de su construcción y de las tareas de monitoreo y control hasta su finalización, de acuerdo con el *Project Management Institute* (PMI) las características de un proyecto son:

- Temporal: significa que cada proyecto tiene un comienzo y un final definido, lo que se conoce como plazo contractual en su fase de ejecución. El final se alcanza cuando se han logrado los objetivos del proyecto en la fase de operación o cuando queda claro que los mismos no serán o no podrán ser alcanzados; o cuando la necesidad del proyecto ya no exista y el proyecto sea cancelado. En cada caso, la duración de un proyecto es limitada.

Figura 1. **Desarrollo Sostenible**



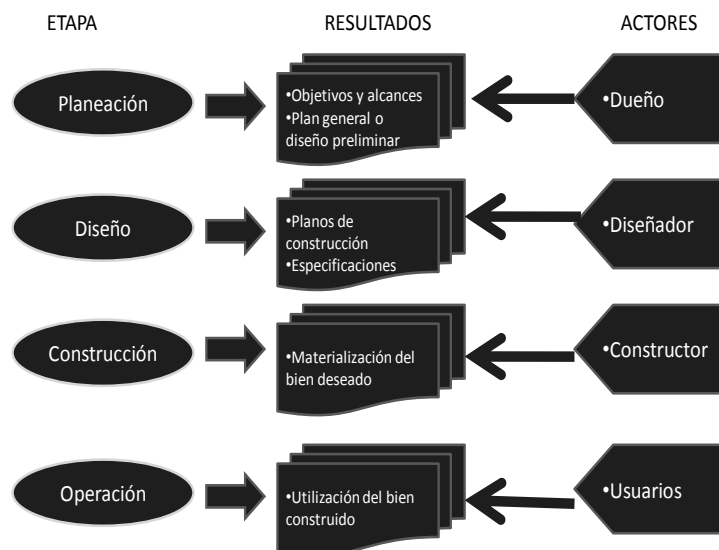
Fuente: González, Alberto. Ingeniería sostenible: nuevos objetivos en los proyectos de construcción. p. 22.

El disponer de proyectos que efectivamente generen los beneficios esperados depende, en gran medida, de una buena identificación, preparación y evaluación de ellos. Es necesario conocer el problema y las alternativas de solución, ya que ello permitirá saber si la mejor solución será vía infraestructura o no, dónde se localizará, su tamaño, quiénes serán los beneficiarios directos e indirectos, cuál será la duración, conocer los costos de inversión y operación, así como los resultados esperados.

1.3. Fases de proyectos

Toda actividad humana requiere, en mayor o menor medida, de infraestructuras, el desarrollo del proyecto desde el inicio de su Preinversión, Ejecución/Investigación, Operación y funcionamiento.

Figura 2. **Ciclo de vida de los proyectos**



Fuente: González, Alberto. Administración de Obras. p.32

1.3.1. Planeación

Está referida a todas aquellas actividades tendientes a definir el proyecto, a estructurar sus características fundamentales y a determinar la conveniencia o no de su realización. Si se conceptualiza al proyecto como un proceso, se observará que este se compone de un conjunto de actividades destinadas a asignar y transformar recursos. Si bien este proceso de transformación adquiere especificidades en cada proyecto, es posible efectuar algunas generalizaciones, por cuanto se asimila a un proceso productivo compuesto de numerosas etapas, en cada una de las cuales el proyecto va revelando su potencialidad.

Esto permite adoptar decisiones en torno a la conveniencia de profundizar el estudio del proyecto, modificarlo, postergarlo, abandonarlo, o bien, ejecutarlo y ponerlo en operación. En virtud de ello, se puede distinguir las siguientes etapas, las cuales siguen el orden cronológico en el cual se presentan:

- Generación de la idea de proyecto
- Estudio de perfil
- Estudio de pre-factibilidad
- Estudio de factibilidad

1.3.2. Diseño

Durante la fase de diseño deben plantearse las posibles alternativas existentes, analizar la viabilidad de las mismas y, a través de un estudio comparativo, justificar la propuesta de la solución que se considere más idónea en los aspectos técnicos, medio ambientales, constructivos, estéticos y económicos. Esta solución posteriormente debe quedar definida, descrita y valorada en los correspondientes documentos constituyentes del proyecto, para

poderse construir y explotar.

La fase de diseño consiste en:

- Planteamiento de alternativas
- Análisis comparativo de su viabilidad
- Justificación de la solución propuesta, desde el punto de vista:
 - Técnico
 - Social
 - Medio ambiental
 - Constructivo
 - Estético
 - Económico
- Redacción de los documentos necesarios para su construcción y explotación.

1.3.3. Construcción

La construcción del proyecto corresponde a la etapa de inversión de los recursos, se caracteriza porque se deben transformar los recursos monetarios (presupuesto de inversión) en recursos humanos y materiales y proceder a su combinación con la finalidad de obtener el resultado esperado de la inversión (obra física o consultoría) y en el tiempo previsto.

1.3.4. Operación

La operación del proyecto corresponde a la etapa de producción, es decir, cuando el proyecto comienza a producir el bien o servicio durante su vida útil para el cual fue ejecutado. Los puntos centrales de esta fase son los relativos a

la eficiencia, eficacia y la flexibilidad. En términos de eficiencia se debe lograr un nivel, por lo menos igual al considerado en la etapa de preparación del proyecto, sobre cuya base se determinaron sus costos, rentabilidad y ejecución. De lo contrario, el proyecto tendrá una rentabilidad inferior a la estimada inicialmente.

1.4. Tipos de proyectos

Los proyectos de infraestructura se relacionan con la inversión en obras civiles que pueden ser de uso económico (beneficiando la producción) o de uso social, mejorando las condiciones de vida; estos proyectos incluyen el equipamiento respectivo. En general se tienen tres tipos de infraestructura: comunicaciones, transporte y redes de energía.

Los proyectos de ingeniería civil incluyen carreteras, puentes, edificios, estructuras inteligentes; plantas generadoras de energía termoeléctricas, hidráulicas y nucleares, puertos, muelles, canales de navegación, túneles, acueductos, autopistas, vías de ferrocarril, aeropuertos y otros sistemas de transporte, plantas de tratamientos de residuos sólidos, de aguas de deshecho y otros tipos de residuos. Los proyectos se clasifican de acuerdo con su objetivo:

- Inversión privada
- Inversión pública
- Inversión social

Los tipos de proyectos se clasifican en función de las construcciones que se van a realizar de la siguiente manera:

1.4.1. Edificación

Esta categoría incluye proyectos tales como construcciones habitacionales, edificios educacionales, de salud, e institucionales, naves industriales ligeras, edificios de oficinas, bancos, comercios, complejos deportivos, etc. Se caracterizan por ser diseñados generalmente por una firma de Ingeniería-Arquitectura. Los materiales requeridos en dichos proyectos enfatizan más en aspectos arquitectónicos: acabados interiores y exteriores, espacios de trabajo y habitacionales.

1.4.2. Ingeniería de construcción

Involucra proyectos que usualmente hacen uso de estructuras que son diseñadas principalmente por personal especializado, ya sea ingenieros de una u otra rama y no tanto por arquitectos. Generalmente este tipo de proyectos resultan en obras que tienen una función pública, relacionada con la infraestructura. Esta categoría generalmente se subdivide en:

- Construcción de carreteras
- Construcción pesada

1.4.3. Construcción institucional

Es desarrollada por entidades oficiales, involucra proyectos como: edificios educativos, deportivos, religiosos, hospitales, culturales, recreativos, servicios, centros correccionales y similares.

1.4.4. Construcción industrial

Involucra proyectos de alto contenido técnico que resultan en obras para la industria manufacturera y para la producción o procesamiento de insumos. En este rubro caen las refinerías, las plantas procesadoras de alimentos, las que elaboran productos químicos, las que producen equipo de comunicación, computación, naves, complejos y parques industriales, fábricas, bodegas, centros de distribución y similares.

1.5. Criterios de diseño

La construcción difiere de otras actividades industriales en la falta de continuidad y la fluctuación de la demanda, la falta de un producto uniforme, la dispersión geográfica de las operaciones que plantea problemas particulares de logística y control, riesgos particulares por las fuerzas de la naturaleza, la oferta de mano de obra, la situación económica, etc.

Los principales factores relacionados con el diseño de proyectos de obra civil son los siguientes:

- Condiciones geológicas y topográficas: dependiendo de las condiciones del terreno, se define la solución.
- Obras de interés general, local: las autoridades deben tomar la decisión de realizar las obras o no, y de cómo hacerlas.
- Condiciones económicas: dependen de las inversiones que tenga un proyecto.

- El planeamiento regional: cualquier edificación debe cumplir el planeamiento de cada ciudad.
- El uso y destino de esa infraestructura.
- Parámetros ambientales: incluyen temperatura del aire, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, radiación solar y temperatura radiante.
- Propiedades termo-físicas de los materiales y objetos que componen el sitio: estos parámetros indican por ejemplo cuánta radiación solar es reflejada por el suelo o una pared, asimismo darán información sobre la efectividad de una barrera de árboles para proteger un sitio del viento o si el aislamiento térmico de los muros de un edificio es apropiado.

2. PARÁMETROS METEOROLÓGICOS

2.1. Definiciones

Meteorología es el estudio científico de la atmósfera de la tierra, incluye el estudio de las variaciones diarias de las condiciones atmosféricas (meteorología sinóptica), el estudio de las propiedades eléctricas, ópticas y otras de la atmósfera (meteorología física); el estudio del clima, las condiciones medias y extremas durante largos periodos de tiempo (climatología), la variación de los elementos meteorológicos cerca del suelo en un área pequeña (micro meteorología) y muchos otros fenómenos.

El parámetro meteorológico se refiere al conjunto de registros de variables que miden el estado del tiempo (precipitación, temperatura, etc.). Aquellas variables atmosféricas o fenómenos (temperatura del aire, presión, viento, humedad, tormentas, nieblas, ciclones o anticiclones, etc.) que caracterizan el estado del tiempo en un lugar específico y en un tiempo dado.

2.2. Generalidades

La meteorología ha tenido un papel relevante en la sociedad, debido a que el tiempo es un elemento de interés no cotidiano para el hombre, sino que de él dependen actividades trascendentes; es la ciencia que se ocupa de los fenómenos que ocurren a corto plazo en las capas bajas de la atmósfera, o sea, donde se desarrolla la vida de plantas y animales.

La meteorología se puede subdividir en diversas ramas, algunas de las cuales son:

- Dinámica: estudio de las causas y naturaleza de los movimientos que tienen lugar en la atmósfera, es decir, la dinámica de todos los fenómenos atmosféricos.
- Física: especialidad de la meteorología que estudia las propiedades físicas de la atmósfera.
- Experimental: se ocupa del estudio de los procesos y fenómenos atmosféricos mediante experiencias realizadas tanto en el laboratorio como en la propia atmósfera.
- Marítima: trata de las complejas interacciones entre los mares y la atmósfera. De gran utilidad para la navegación y la pesca.
- Sinóptica: estudia los fenómenos atmosféricos presentes, basándose en las observaciones realizadas a la misma hora y anotadas en mapas geográficos, con el objeto de predecir el estado del tiempo futuro.
- Tiempo: el tiempo meteorológico es el estado de la atmósfera en un momento determinado, definido por los diversos parámetros meteorológicos. A diferencia del clima, el tiempo muestra la situación atmosférica durante un intervalo más o menos corto.

Tabla I. **Diferencias entre meteorología, climatología y clima**

<ul style="list-style-type: none"> • La meteorología estudia los cambios atmosféricos que se producen a cada momento, utilizando parámetros como la temperatura del aire, su humedad, la presión atmosférica, el viento o las precipitaciones. El objetivo de la meteorología es predecir el tiempo que va a hacer en 24 o 48 horas y, en menor medida, elaborar su pronóstico a medio plazo. 	<p>La meteorología y la climatología estudian la atmósfera desde varias perspectivas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Describen las condiciones generales del tiempo atmosférico en una zona y época concretas. • Investigan el comportamiento de las grandes masas de aire con el fin de establecer leyes generales de su influencia sobre otros factores. <p>Finalmente, analizan cada uno de estos factores particulares (temperatura, presión, humedad, etc.) con el fin de descubrir las leyes que los gobiernan y poder hacer una previsión acertada del tiempo.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • La climatología es la ciencia que estudia el clima y sus variaciones a lo largo del tiempo. Aunque utiliza los mismos parámetros que la meteorología, su objetivo es distinto, ya que no pretende hacer previsiones inmediatas, sino estudiar las características climáticas a largo plazo. 	
<ul style="list-style-type: none"> • El clima es el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan las condiciones habituales o más probables de un punto determinado de la superficie terrestre. Es, por tanto, una serie de valores estadísticos. Por ejemplo, aunque en un desierto se pueda producir, eventualmente, una tormenta con precipitación abundante, su clima sigue siendo desértico, ya que la probabilidad de que esto ocurra es muy baja. 	

Fuente: elaboración propia.

2.3. Estación meteorológica

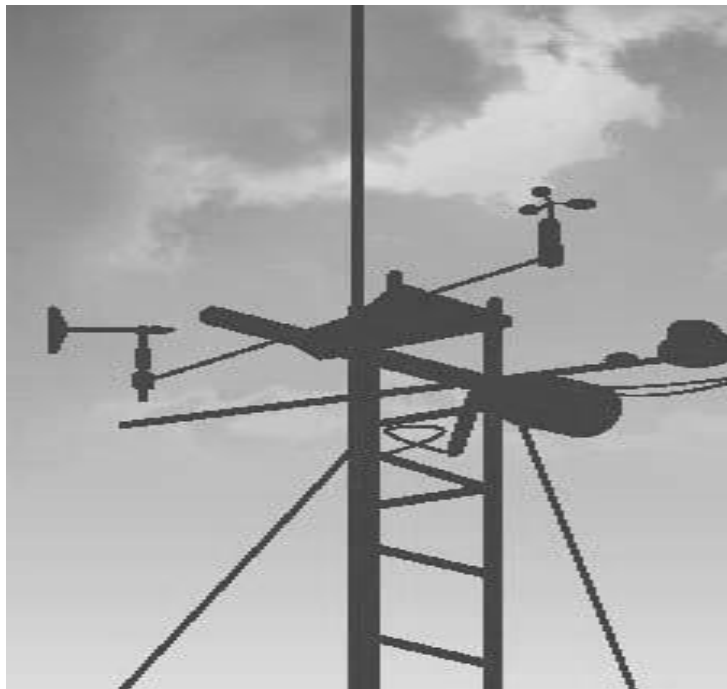
2.3.1. Definición

Es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas. Estos datos se utilizan tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos.

2.3.2. Generalidades

Dentro de las estaciones, se pueden distinguir las tradicionales, que requieren la existencia de un encargado que las visite diariamente a horas fijas para la toma de medidas, y las automáticas, que son las que se van imponiendo en la actualidad y en las que el registro de datos se hace automáticamente y prácticamente en continuo. A partir de los datos obtenidos en estas estaciones, se van formando sucesivamente las series de datos horarios, diarios, semanales, mensuales y anuales.

Figura 3. **Torre meteorológica de superficie**



Fuente: <http://dcpa.obolog.com/meteorologia-499846>. Junio 2,011.

1.3.7. Clasificación de estaciones meteorológicas

Las estaciones se clasifican según la Organización Meteorológica Mundial (OMM) de la siguiente manera:

- Según su finalidad
 - Sinópticas
 - Climatológicas
 - Agrícolas
 - Aeronáuticas
 - Especiales

- De acuerdo con la magnitud de las observaciones
 - Principales
 - Ordinarias
 - Auxiliares

- Por el nivel de ubicación
 - En Superficie
 - En Altitud

- Según el lugar de observación
 - Terrestres
 - Aéreas
 - Marítima

Figura 4. **Estación meteorológica automática típica**

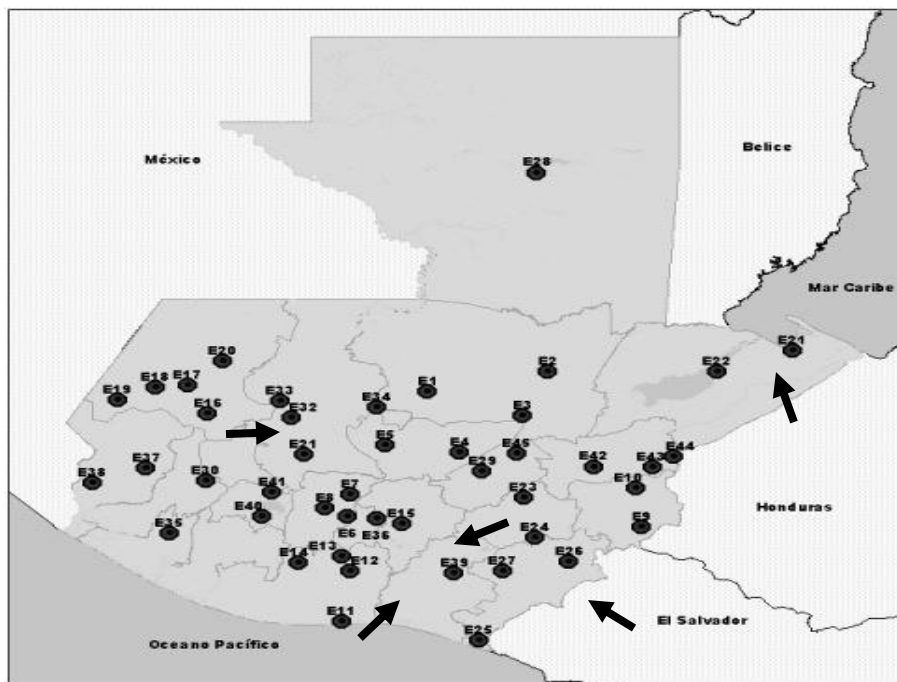


Fuente: <http://dcpa.obolog.com/estacion-meteorologica/>.Junio 2,011.

1.3.8. Criterios de localización y emplazamiento de las estaciones meteorológicas

Se deben emplazar en lugares cuyo clima sea representativo; se evitarán hondonadas cuya temperatura, viento, etc., puede ser diferente a la de su entorno. Las estaciones meteorológicas deben estar situadas en lugar llano y libre de obstáculos que puedan afectar a las observaciones. En cuanto al lugar de emplazamiento de los instrumentos de la estación, no hay unas normas establecidas al respecto, siendo esencial que no se afecten entre sí.

Figura 5. Estaciones meteorológicas de Guatemala



Nota: indica estaciones evaluadas →

Fuente: INSIVUMEH. Boletín meteorológico. p.11. Junio 2,011.

Tabla II. Características meteorológicas estaciones meteorológicas evaluadas

Datos meteorológicos ubicación estaciones meteorológicas					
Características física Parámetro meteorológico	Estación				
	E-12	E-15	E-16	E-21	E-26
Ubicación (departamento)	Escuintla	Guatemala	Huehuetenango	Izabal	Jutiapa
Elevación (msnm)	750.0	1502.0	1870.0	2.0	478.0
Temperaturas (°C)	29.4	18.1	29.4	18.1	29.4
Temperaturas absolutas	36.5	10.0	36.5	10.0	36.5
Precipitación (mm)	3124.8	1196.8	974.9	3111.3	1241.3
Brillo solar total h/promedio	99	203.6	219.0	202.2	246.5
Humedad relativa (%)	79.0	78.0	72.0	83.0	66.0
Velocidad del viento (km/s)	99	17.7	7.5	20.2	20.1
Evaporación (mm)	96.3	120.2	146.6	99	159.8

Fuente: elaboración propia.

1.3.9. Criterios para la instalación de estaciones meteorológicas

- En forma general
 - Relieve: en el estudio del clima se ha determinado que en un área existen variaciones de temperatura, precipitación, dirección y velocidad del viento, etc., debido a la configuración, aislamiento, orientación y discontinuidad que se presentan en dicha área.
 - Factores geográficos: es necesario considerar la cercanía al nivel del mar, y en áreas continentales la proximidad de almacenamiento de aguas naturales o artificiales.
- En forma particular
 - Representatividad
 - Emplazamiento despejado
 - Terreno
 - Cercanía al observador
 - Fácil acceso

Figura 6. **Estación meteorológica comercial**



Fuente: <http://dcpa.obolog.com/estacion-meteorologica-comercial/>. Junio 2,011.

1.3.10. Estaciones meteorológicas comerciales

Las estaciones meteorológicas existentes en el mercado poseen una serie de ventajas necesarias para detectar variables ambientales. Las estaciones automáticas, están compuestas por un *datalogger* y un conjunto de sensores meteorológicos, colocados en un gabinete apto para la intemperie.

1.3.11. Equipos de estaciones meteorológicas

Para medir ciertas variables meteorológicas se necesita la ayuda de instrumentos adecuados para poder hacerlo, las estaciones meteorológicas constan de diferentes equipos y elementos electrónicos para su funcionamiento; nuestros sentidos y principalmente la vista y el tacto permite estimar un gran

número de observaciones, sin embargo, nuestros sentidos no son suficientes, por lo que se recurre a los instrumentos, en este caso, las observaciones se llaman observaciones instrumentales.

Los elementos que se miden con ayuda de los instrumentos son los siguientes:

- Temperatura del aire, del agua y del suelo
- Humedad
- Presión atmosférica
- Velocidad y dirección del viento
- Cantidad de lluvia
- Cantidad de evaporación
- Duración de la insolación o brillo solar
- Altura de la base de las nubes
- Radiación solar

Tabla III. Equipos estación meteorológica

PARÁMETRO METEOROLÓGICO	EQUIPO	DESCRIPCIÓN
Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> •Termómetros •Termógrafo 	Indican las temperaturas máxima y mínima del aire (°C), se utilizan diferentes termómetros colocados en la sombra.
Humedad atmosférica	<ul style="list-style-type: none"> •Higrómetro 	Mide el grado de humedad del aire, dando una indicación cualitativa de la humedad ambiental.
Humedad relativa	<ul style="list-style-type: none"> •Psicrómetro 	Mide la humedad relativa (%) de un modo indirecto.
	<ul style="list-style-type: none"> •Higrógrafo 	Aparato que registra la humedad relativa del aire (%).
Precipitación	<ul style="list-style-type: none"> •Pluviómetro 	Mide la cantidad de lluvia caída, en milímetros (mm).
	<ul style="list-style-type: none"> •Pluviógrafo 	Registra la cantidad de lluvia caída, en milímetros (mm).
Evaporación	<ul style="list-style-type: none"> •Evaporación tanque 	Sirve para controlar la evaporación potencial, se obtiene la cantidad de agua evaporada en 24 horas. (ml,mm)
	<ul style="list-style-type: none"> •Evaporación piche (sombra) 	Sirve para controlar la evaporación potencial que es la cantidad de agua por unidad de área y por unidad de tiempo que se evapora en una pequeña superficie expuesta al aire libre; se obtiene la cantidad de agua evaporada en 24 horas. (ml,mm)
	<ul style="list-style-type: none"> •Evaporímetro 	Sirve para medir la cantidad de agua que se evapora en la atmosfera durante un intervalo de tiempo dado. Las unidades son el (ml) o el milímetro (mm) de agua evaporada.
Viento	<ul style="list-style-type: none"> •Veleta 	Dispositivo giratorio que consta de una placa vertical que gira libremente, con un señalador que indica la dirección del viento, y una cruz horizontal que indica los puntos cardinales.
	<ul style="list-style-type: none"> •Anemógrafo 	Registra continuamente la dirección (grados) de la velocidad instantánea del viento (m/s), la distancia total (en km.) recorrida por el viento en relación con el instrumento y las ráfagas (en m/s).
	<ul style="list-style-type: none"> •Anemómetro 	Mide la velocidad del viento (m/s).
Presión atmosférica	<ul style="list-style-type: none"> •Barómetro 	Sirve para medir la presión atmosférica, la cual se equilibra con el peso de una columna de mercurio. Las unidades son el milímetro de mercurio (mm de Hg), el milibar (mb), hectopascal (hPa).
	<ul style="list-style-type: none"> •Barógrafo 	Registra continuamente la presión atmosférica en milímetros de mercurio (mm Hg), en milibares (mb), hectopascal (hPa).
Insolación (horas brillo solar)	<ul style="list-style-type: none"> •Heliógrafo 	Instrumento que registra la duración de la insolación o brillo solar, en horas y décimos.
Radiación solar	<ul style="list-style-type: none"> •Actinógrafo 	Mide la radiación solar global o difusa (cal /cm ² /mm).

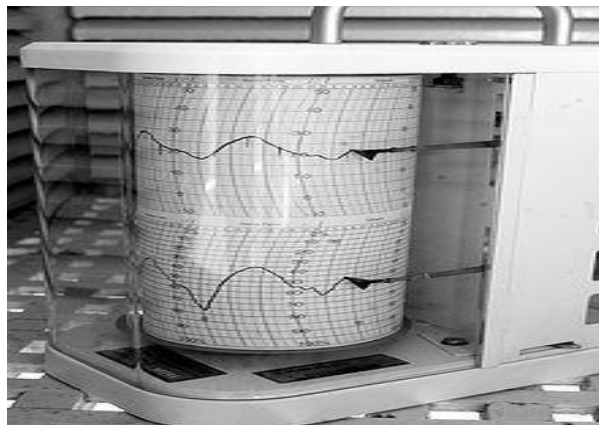
Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Termómetro**



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Digitales_fieberthermometer_2.jpg. Junio 2,011.

Figura 8. **Higrógrafo**



Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Umidaderelariva.jpg>. Junio 2,011.

Figura 9. **Pluviómetro**



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Exterior_tipping_bucket.JPG. Junio 2,011.

Figura 10. **Tanque de evaporación**



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:evaporacion_estacion.jpg. Junio 2,011.

Figura 11. **Anemómetro**



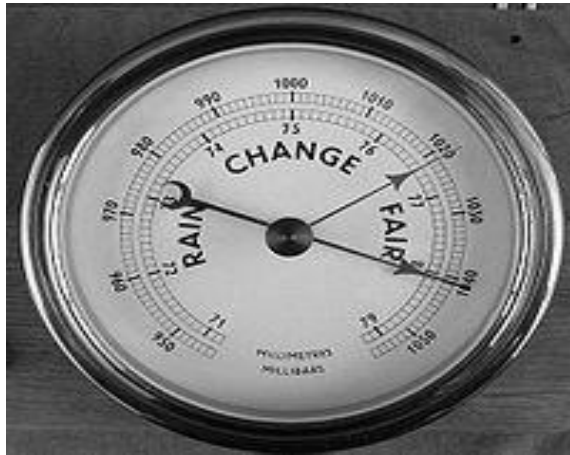
Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:anemo_estacion-jpg. Junio 2,011.

Figura 12. **Veleta**



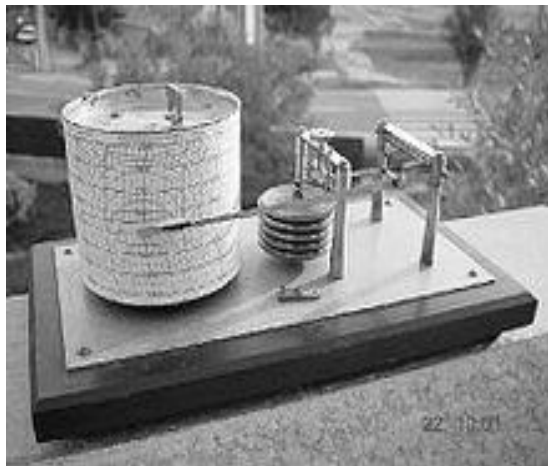
Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:vele_velta_estacion-jpg. Junio 2,011.

Figura 13. **Barómetro**



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Exterior_barometr_11JPG. Junio 2,011.

Figura 14. **Barógrafo**



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:barograph_01JPG. Junio 2,011.

Figura 15. **Heliógrafo**



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:barograph_01JPG. Junio 2,011.

Figura 16. **Actinógrafo**



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:actinograph_016jpg. Junio 2,011.

2.3.7.1. Requisitos y normas sobre instalación del instrumental meteorológico

Un instrumento de uso meteorológico está destinado a evaluar los aspectos cuantitativos de un fenómeno natural. Los instrumentos, una vez salidos de la fábrica certificados y autorizados, deben sujetarse a ciertas normas de instalación, manejo, calibración y mantenimiento, para cumplir tal función, deben reunir los siguientes requisitos:

- Sensibilidad
- Precisión
- Sensibilidad y precisión constante a través del tiempo
- Simplicidad de diseño y manejo
- Facilidad de funcionamiento y manejo
- Facilidad de funcionamiento y mantenimiento
- Solidez de construcción

2.3.7.2. Emplazamiento y exposición de los instrumentos

La exposición de los instrumentos meteorológicos constituye un factor significativo en la medida de determinados elementos meteorológicos y, por consiguiente, a fin de que las observaciones de distintas estaciones puedan ser comparables; las exposiciones deben ser similares. Debe quedar afuera de la influencia de árboles y edificios y en una posición tal, que constituya una buena representación de las condiciones colindantes.

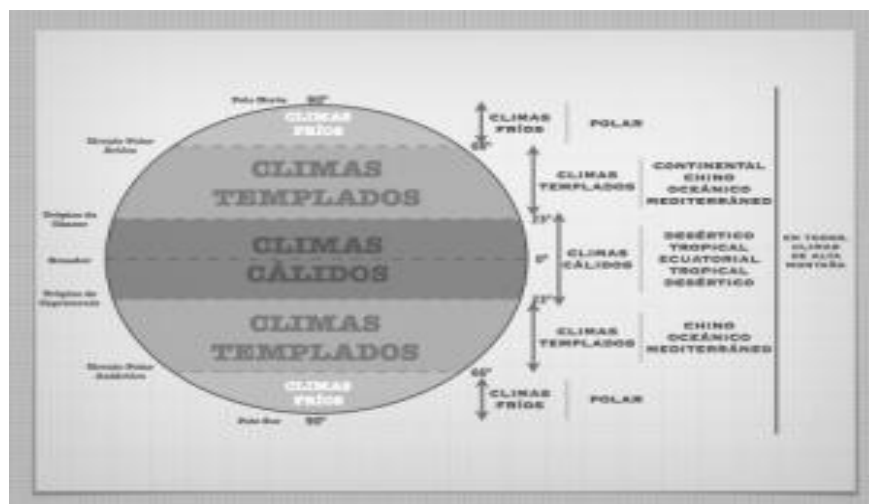
3. CLIMA Y PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA

3.1. Definición

El clima es el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan las condiciones habituales o más probables de un punto determinado de la superficie terrestre; el clima refleja las tendencias resultantes de condiciones habituales durante un largo período.

Estado medio o descripción estadística del tiempo en términos de valores medios y variabilidad de las cantidades pertinentes, durante largos periodos (el periodo normal es de 30 años), que es efecto a largo plazo de la radiación solar sobre la superficie y la atmósfera de la tierra en rotación. La palabra clima viene del griego *klima*, que hace referencia a la inclinación del sol.

Figura 17. Clasificación climática mundial según Koppen



Fuente: <http://profgeo.wordpress.com/2008/10/06/zonas-climaticas/>. Junio 2,011.

3.2. Generalidades

El impacto del clima sobre el ser humano abarca prácticamente todos los aspectos de su vida, que van desde el tipo de viviendas que construye, a la ropa que usa; a largo plazo puede incluso determinar su aspecto físico o su carácter. Es un elemento de primer orden a la hora de diseñar porque abarca factores como: forma, color, orientación, confort del usuario, iluminación interior y exterior, acoplamiento con la naturaleza, integración con el medio, materiales y localización.

El relieve de América ofrece un panorama variado, constituido por grandes cadenas montañosas que generalmente se extienden paralelamente a los litorales del Pacífico y del Atlántico, amplias llanuras que ocupan la porción central del continente y mesetas, altas y bajas, limitadas por cordilleras. América presenta una gran variedad de climas, desde los más cálidos hasta los más fríos, debido a su gran extensión. El estudio de las características del tiempo permite definir el clima de una región; en aquellos lugares de relieve irregular, el descenso de temperatura genera distintas zonas climáticas entre puntos ubicados a tan solo 30 ó 50 km. Estas variaciones de temperatura, provocadas por la altitud, suelen tener lugar en la parte continental de Centroamérica.

Figura 18. **Impacto del clima en la infraestructura vial**



Fuente: http://www.noticiadeimpacto.com/2010_05_09_archive.html. Junio 2,011.

Guatemala oscila entre 12 y 13 millones de habitantes, según proyección del XI Censo Nacional de Población y VI de habitación del año 2,002; el 70% de la población vive en las tierras altas, más frescas, menos húmedas y más sanas que las calurosas, lluviosas y tierras bajas. En un amplio sector predomina el mismo tipo de clima, el cálido tropical, aunque las temperaturas varían con la altitud; esta propicia una serie de contrastes muy interesantes: cálido con alta humedad en la zona pacífica, cálido y seco en algunas zonas llanas del interior y frío en las zonas altas del país, la zona de las cotas altas superiores a los 3500 msnm.

Entre los 915 m y 2440 m, zona en la que se concentra la mayor parte de la población, los días son cálidos y las noches frías; la temperatura tiene un promedio anual de 20 °C.

El clima de las regiones costeras es de características más tropicales; la costa atlántica es más húmeda que la del Pacífico, con una temperatura cuya media o promedio anual es de 28.3 °C.

Tabla IV. **Clasificación climática mundial según Köppen**

A	Clima tropical lluvioso. Todos los meses la temperatura media es superior a 18°C. No existe estación invernal y las lluvias son abundantes.
B	Climas secos. La evaporación es superior a la precipitación. No hay excedente hídrico.
C	Climas templados y húmedos. El mes más frío tiene una temperatura media comprendida entre 18°C y -3°C, y la media del mes más cálido supera los 10°C
D	Climas templados de invierno frío. La temperatura media del mes más frío es inferior a -3°C y la del mes más cálido está por encima de 10°C
E	Climas polares. No tienen estación cálida y el promedio mensual de las temperaturas es siempre inferior a 10°C. Cuando el mes más cálido oscila entre 0 y 10°C de temperatura media Köppen diferencia el grupo ET (Clima de tundra) y en el caso de que ningún mes supere los 0°C de temperatura media el grupo EF (Clima de hielo permanente)

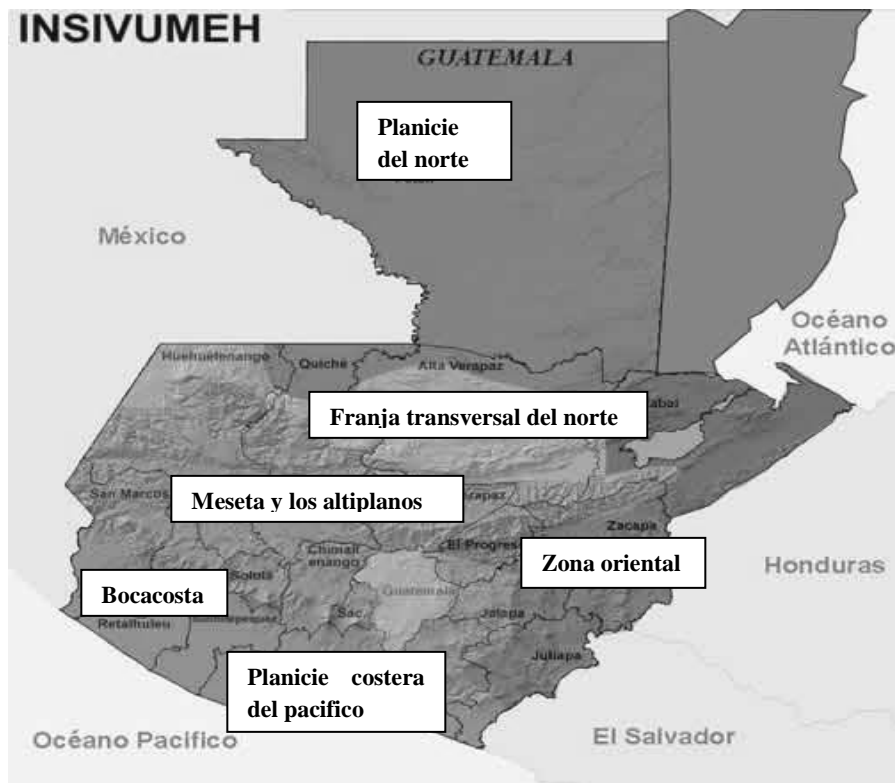
Fuente: <http://profgeo.wordpress.com/2008/10/06/zonas-climaticas/>. Junio 2,011.

3.3. Zonas climáticas

La tierra se ha dividido en zonas climáticas en función de las desiguales temperaturas y la luz solar que reciben, estas diferencias se originan debido a los movimientos de rotación y traslación del planeta, así como a su esfericidad, su órbita elipsoide y la inclinación del eje terrestre. Estas zonas sirven de base a la clasificación de los climas terrestres, dentro de cada una de estas zonas, cabe distinguir los tipos y subtipos de climas, que se establecen en función de dos elementos climáticos principalmente: la temperatura y las precipitaciones.

De acuerdo con la clasificación según Koppen (más conocida y de mayor aplicación), consiste en que la vegetación natural constituye un indicador del clima, y algunas de sus categorías se apoyan en los límites climáticos de ciertas formas de vegetales. Los climas son definidos por los valores medios anuales y mensuales de temperatura y precipitación. Con estos criterios quedan definidos cinco grandes grupos, indicados con las letras mayúsculas.

Figura 19. **Zonas climáticas de Guatemala**



Fuente: INSIVUMEH. Boletín meteorológico. p.17. Junio 2,011.

3.3.1. Clima de Guatemala

El clima es producto de los factores astronómico, geográfico y meteorológico, adquiriendo características particulares por la posición geográfica y topografía del país; climáticamente, se ha zonificado al país en seis regiones perfectamente caracterizadas por el sistema de Thorntwaite.

3.3.1.1. Las planicies del norte

Comprende las planicies de Petén, la región norte de los departamentos de Huehuetenango, Quiché, Alta Verapaz e Izabal.

Las elevaciones oscilan entre 0 a 300 msnm. El ascenso se realiza mientras se interna en el territorio de dichos departamentos, en las Sierras de Chamá y Santa Cruz. Es una zona muy lluviosa durante el año aunque de junio a octubre se registran precipitaciones intensas. Los registros de temperatura oscilan entre los 20 y 30 °C. En esta región se manifiestan climas cálidos con invierno benigno, variando su carácter entre muy húmedos, húmedos y semisecos, sin estación seca bien definida. La vegetación característica varía entre selva y bosque.

3.3.1.2. La franja transversal del norte

Definida por la ladera de la sierra de los Cuchumatanes, Chamá y Las Minas, norte de los departamentos de Huehuetenango, Quiché, Alta Verapaz y cuenca del Río Polochic. Las elevaciones oscilan entre los 300 hasta los 1400 msnm, es muy lluviosa y los registros más altos se obtienen de junio a octubre; los niveles de temperatura descienden conforme aumenta la elevación. En esta región se manifiestan climas cálidos con invierno benigno; cálidos sin estación

seca bien definida y semicalidos con invierno benigno, su carácter varia desde muy húmedos sin estación seca bien definida. La vegetación característica es de selva a bosque.

3.3.1.3. La meseta y los altiplanos

Comprende la mayor parte de los departamentos de Huehuetenango, Quiché, San Marcos, Quetzaltenango Totonicapán, Sololá, Chimaltenango, Guatemala, sectores de Jalapa y las Verapaces. Las montañas definen mucha variabilidad con elevaciones mayores o iguales a 1400 msnm, generando diversidad de microclimas; son regiones densamente pobladas, por lo que la acción humana se convierte en factor de variación apreciable. Las lluvias no son tan intensas, los registros más altos se obtienen de mayo a octubre; en los siguientes meses estas se reducen; en cuanto al clima en diversos puntos de esta región se registran las temperaturas más bajas del país. En esta región existen climas que varían de templados y semi fríos con invierno benigno a semi cálidos con invierno benigno, de carácter húmedos y semi secos con invierno seco.

3.3.1.4. La bocacosta

Es una región angosta que transversalmente se extiende desde el departamento de San Marcos hasta el de Jutiapa, situada en la ladera montañosa de la Sierra Madre, en el descenso desde el altiplano hacia la planicie costera del Pacífico, con elevaciones de 300 a 1400 msnm Las lluvias alcanzan los niveles más altos del país juntamente con la transversal del norte, con máximos pluviométricos de junio a septiembre, los valores de temperatura aumentan a medida que se desciende hacia el litoral del Pacífico. En esta región existe un clima generalizado de tipo semi cálido y sin estación fría bien

definida; con carácter de muy húmedo, sin estación seca bien definida, en el extremo oriental varía a húmedo y sin estación seca bien definida. La vegetación característica es selva.

3.3.1.5. Planicie costera del Pacífico

Esta región también se extiende desde el departamento de San Marcos hasta el de Jutiapa, con elevaciones de 0 a 300 msnm. Las lluvias tienden a disminuir conforme se llega al litoral marítimo con deficiencia durante parte del año; los registros de temperatura son altos. En esta región existen climas de género cálido, sin estación fría bien definida. Con carácter húmedo e invierno seco, variando a semiseco. Con invierno seco. La vegetación varía de bosque a pastizal en el sector oriental.

3.3.1.6. Zona oriental

Comprende la mayor parte del departamento de Zacapa y sectores de los departamentos de El Progreso, Jalapa Jutiapa y Chiquimula, el factor condicionante es el efecto de sombra pluviométrica que ejercen las sierras de Chuacús y de Las Minas y a lo largo de toda la cuenca del río Motagua; las elevaciones son menores o iguales a 1400 msnm. La característica principal es la deficiencia de lluvia (la región del país donde menos llueve) con marcado déficit la mayoría del año y con los valores más altos de temperatura. En esta región se manifiestan climas de tipo cálido con invierno seco, variando su carácter de semi secos sin estación seca bien definida, hasta seco. La vegetación característica es el pastizal.

3.4. Criterios climáticos de diseño

La presencia de la meteorología en la sociedad actual es una constante, no hay un solo sector económico que, de uno u otro modo, sea ajeno al medio atmosférico. La interacción entre la meteorología y las distintas actividades humanas es un factor que, a menudo, condiciona el resultado económico de las mismas. En los países tropicales como Guatemala se tiene alta humedad relativa, lluvias fuertes, fuerte asoleamiento, es preciso planear sistemas sociales y económicos sostenibles para hacer frente a los actuales y futuros fenómenos meteorológicos e hidrológicos extremos y que puedan adaptarse a la rápida recuperación subsiguiente.

El clima afecta los proyectos en todas sus fases, fundamentalmente en su fase de ejecución y operación; las herramientas que sirven como apoyo a las decisiones relativas a la gestión de proyectos de infraestructura dependen en gran medida de la precisión en las predicciones y observaciones de una amplia variedad de fenómenos meteorológicos.

3.4.1. Fases del proyecto

En términos climáticos los proyectos tienen que responder al calor, frío, radiación, viento y otras presiones; en los países fríos las estaciones son muy marcadas y hay más tiempo de frío que de calor; en los países calurosos existe una notoria diferencia entre el día y la noche (con relación a la temperatura); la humedad relativa es muy baja.

3.4.1.1. Diseño

El clima es un elemento de primer orden a la hora de diseñar porque abarca factores como: forma, color, orientación, confort del usuario, iluminación interior y exterior, acoplamiento con la naturaleza, integración con el medio, materiales y localización. Para determinar el clima debe tomarse en cuenta lo siguiente:

- Uso de parámetros meteorológicos de diseño de acuerdo con el tipo, ubicación y usos del proyecto, incluyendo período de diseño y vida útil del proyecto (obras de infraestructura, actividades recreativas de mayor éxito dependen de condiciones climáticas específicas, entre otras).
- Uso de especificaciones sobre procesos, materiales y elementos de construcción de acuerdo con la ubicación del proyecto. (obras de importancia nacional, empresarial o personal, es necesario considerar la durabilidad del material con el que se pretende construir una estructura).

3.4.1.2. Planificación

Dentro de las fases del proyecto, en la planificación se deben de considerar las diferentes condiciones climáticas anuales, mensuales y diarias que pueden afectar los diferentes procesos y componentes del proyecto durante su construcción, de manera que en el presupuesto y programa de trabajo se consideren estos aspectos (día aprovechable, temperatura límite del ambiente para la aplicación de unidades bituminosas y para la manipulación de materiales naturales húmedos, etc.

3.4.1.3. Construcción

La construcción depende de lo riguroso o benigno del clima y sus exigencias, dadas las diferencias climáticas de cada región y las diversas condiciones de servicio, es necesario investigar el efecto que tendrán en los materiales empleados para las condiciones particulares de cada obra.

- **Obra gris:** el clima puede afectar los presupuestos y programas de trabajo, procesos constructivos de acuerdo al tipo, ubicación y usos del proyecto.
- **Materiales:** el clima puede afectar los diferentes materiales de construcción (acero, cemento, agregados, PVC, emulsiones asfálticas, etc.) durante su almacenaje, manejo y uso, de acuerdo con la ubicación del proyecto; por lo que deben aplicarse las especificaciones técnicas establecidas.
- **Mano de obra:** el clima es uno de los principales factores que afectan el rendimiento de la mano de obra y por tanto la productividad, dentro de los proyectos de infraestructura, situación que tiene que considerarse dentro de la programación (en días despejados se genera un amplio margen de variación térmica, mientras que en días nublados es inferior).
- **Equipo:** el clima es uno de los principales factores que afectan el rendimiento y vida útil del equipo, en los proyectos de infraestructura, situación que tiene que considerarse dentro del presupuesto y programación.

3.4.1.4. Operación y mantenimiento

El clima es uno de los principales factores que afectan la vida útil de las instalaciones, situación que tiene que considerarse dentro del presupuesto de operación y mantenimiento del proyecto; los contaminantes afectan a los materiales de construcción de una forma intensa: ensuciando las fachadas, corroyendo las pinturas, estropeando los materiales eléctricos; además, los óxidos de azufre producen ácido sulfúrico, que cae con la lluvia y deteriora los edificios.

Figura 10. Efectos del clima en proyectos de infraestructura



Fuente: Rodríguez, Fernando. El tiempo y el clima: variabilidad y cambio desarrollo sostenible después de 2002. p. 54. Junio 2,011.

Las infraestructuras públicas que pueden soportar los impactos de fenómenos meteorológicos extremos son importantes para el desarrollo sostenible, los servicios meteorológicos e hidrológicos nacionales proporcionan datos e información esenciales para la planificación y la concepción adecuada de sistemas de transporte y comunicaciones fundamentales para el comercio y los intercambios comerciales. De acuerdo con modelos existentes, el fenómeno del cambio climático producirá las siguientes condiciones a nivel del planeta:

- Un calentamiento global promedio, de entre 1.5 y 4.5 °C ocurrirá, siendo la mejor estimación 2.5 °C
- La estratosfera se enfriará significativamente.
- El calentamiento superficial será mayor en las altas latitudes en invierno, pero menores durante el verano.
- La precipitación global aumentará entre 3 y 15%.
- Habrá un aumento de las precipitaciones durante todo el año, en las altas latitudes, mientras que algunas áreas tropicales, experimentarán pequeñas disminuciones.
- La temperatura global promedio podría aumentar entre 2 y 4 °C para el año 2100, si el desarrollo global continúa a los ritmos actuales.
- Si se incorpora la influencia de los aerosoles atmosféricos al modelo, el calentamiento disminuye a aproximadamente 0.2 °C por década, en los próximos 100 años.

- Durante los últimos 30 años se ha observado una fuerte tendencia negativa en la extensión del hielo marino en la región ártica durante los meses de verano, conclusión que se ha visto reforzada por las observaciones efectuadas en septiembre de 2008.
- El calor prolongado por encima de los criterios de diseño provoca un deterioro prematuro de la carpeta de rodadura de las carreteras, reduciendo así su vida útil.
- Los puentes pueden estar particularmente sujetos a tensiones adicionales provocadas por largos períodos de temperaturas elevadas.
- Las altas temperaturas en la superficie de las carreteras elevan el riesgo de que se produzcan reventones de neumáticos, especialmente en vehículos con carga pesada.
- La falta de precipitaciones conlleva niveles de agua más bajos, lo que afecta de forma negativa al uso de las vías fluviales; la sequía influye sobre la navegación comercial.

A continuación se presentan algunos proyectos de infraestructura y los parámetros meteorológicos que los afectan durante sus diferentes fases (diseño, construcción y operación).

Tabla V. **Parámetros meteorológicos/fenómeno natural y su incidencia en los principales proyectos de infraestructura**

Parámetro meteorológico	Tipo de proyecto												
	Proyectos urbanizaciones	Sistemas de agua potable	Sistemas de drenajes	Plazas de tratamiento de aguas	Proyectos turísticos	Proyectos aeropuertos	Relevos sanitarios	Sistemas de riego	Sistemas de transportes	Instalaciones conducción energía	Instalaciones generación energía	Instalaciones sistemas fotovoltaicos	Otros
Temperatura del aire	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X
Humedad	X	X	X		X	X	X	X					X
Presión atmosférica					X	X	X		X				X
Velocidad, dirección del viento	X			X	X	X	X	X	X			X	X
Lluvia (precipitación, días de lluvia)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Evaporación				X	X	X	X	X					X
Insolación	X			X	X	X	X	X			X	X	X
Brillo solar				X	X	X	X				X	X	X
Altura base nubes				X		X	X				X		X
Radiación solar	X	X			X	X	X				X		X
Nivel del mar	X				X	X		X					X
Inundaciones	X	X	X	X	X		X	X	X	X			X

Fuente: elaboración propia.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En general se concibe el clima como una condición uniforme distribuida sobre una gran área. Sin embargo, en esta área existe una infinidad de factores que influyen en los parámetros meteorológicos, a lo que se le llama microclimas. El clima urbano refiere a las condiciones del clima diferentes del entorno rural, atribuido al desarrollo urbano, este por su parte desarrolla un significativo calentamiento frente a su entorno rural (y posiblemente suburbano), particularmente de noche y en calma.

La cooperación internacional en la investigación ha sido esencial para ampliar los límites de la ciencia meteorológica, el Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (PMIC) persigue el desarrollo de la comprensión científica fundamental del sistema físico del clima y de los procesos climáticos necesarios para determinar el grado en que puede predecirse el clima y el de la influencia humana sobre él.

El Programa de Investigación de la Atmósfera y el Medio Ambiente (PIAMA) de la OMM (Organización Meteorológica Mundial) es un programa completo, pero con dos componentes prioritarios: el Programa Mundial de Investigación Meteorológica (PMIM) y el Programa de Investigación sobre Meteorología Tropical (PIMT) para sistemas meteorológicos tropicales, en particular ciclones.

4.1. Estaciones meteorológicas

De acuerdo con la metodología establecida, se evaluaron las estaciones meteorológicas del Instituto de Sismología, Vulcanología; Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) seleccionadas (E-13 Escuintla, E-15 INSIVUMEH, E-16 Huehuetenango, E-21 Izabal y E-26 Jutiapa). Se tuvo el inconveniente que la información no estaba completa en la mayoría de estaciones departamentales (faltaban parámetros y completar los últimos años).

Tabla VI. **Resumen información disponible (parámetros meteorológicos)**
Estaciones meteorológicas evaluadas

Resumen información disponible (parámetros meteorológicos)						
Parámetro meteorológico		Estación meteorológica				
		E-13 Escuintla	E-15 INSIVUMEH	E-16 Huehuetenango	E-21 Izabal	E-26 Jutiapa
Temperatura del aire		X	X	X	X	X
Humedad		X	X	X	X	X
Presión atmosférica		-	X	X	X	X
Viento	Velocidad	X	X	X	X	X
	Velocidad	-	X	X	X	X
Lluvia	Precipitación	X	X	X	X	X
	Días de lluvia	X	X	X	X	X
Evaporación	Tanque intemperie	-	X	X	X	-
	Tanque sombra	-	-	-	-	X
Insolación		X	X	X	X	X
Brillo solar		-	X	X	X	-
Altura de la base de las nubes		X	X	X	X	X
Radiación solar		-	X	-	-	-

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Resumen información disponible por año**
Estaciones meteorológicas evaluadas

Resumen información disponible por año					
Año registro	Estación meteorológica				
	E-12	E-15	E-16	E-21	E-26
2001	X	X	X	X	X
2002	X	X	X	X	X
2003	X	X	X	X	X
2004	X	X	X	X	X
2005	-	X	X	X	X
2006	-	X	X	X	X
2007	X	X	X	X	X
2008	X	X	X	X	X
2009	-	X	X	-	X
2010	-	X	X	-	X

Fuente: elaboración propia.

4.2. Parámetros meteorológicos

Cuando un parámetro meteorológico sale de sus valores medios de muchos años, se habla entonces de una “anomalía climática”, que puede ser ocasionada por forzamientos internos, forzamientos externos naturales o por aquéllos causados por la actividad humana, es necesario tomar conciencia de que está ocurriendo un cambio en el clima.

De acuerdo con la metodología establecida, se procedió a obtener la información necesaria (registros parámetros meteorológicos 2001-2010) de las estaciones definidas. Se tuvo el inconveniente que la información que el INSIVUMEH tiene a disposición del público no estaba completa (faltaban parámetros y completar los últimos años).

4.2.1. Análisis de información

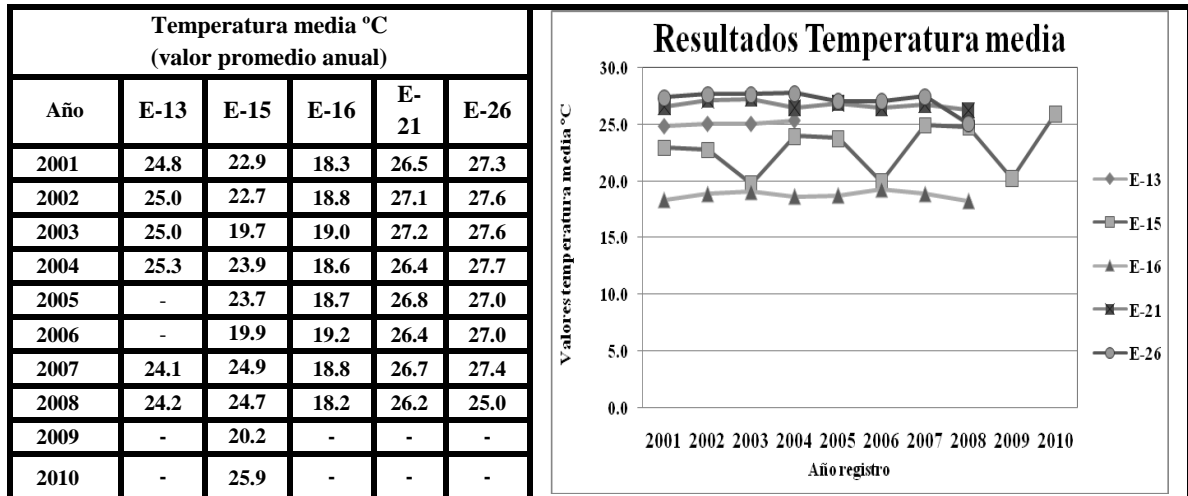
Algunas experiencias han mostrado que cuando los avances recientes de la investigación en la ciencia del clima son aplicados como herramientas de apoyo en toma de decisiones y planeación, generalmente se obtienen beneficios económicos, avances en la mitigación de impactos negativos y reducción de la vulnerabilidad ante la variabilidad climática. La información para el período 2001-2010 se obtuvo en la página web del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), con la que se generó una base de datos en hoja electrónica, lo que facilitó su tabulación y análisis; se consideraron los años que tenían más de 9 meses de registros.

4.2.1.1. Temperatura

La temperatura representa el parámetro meteorológico que se ve más alterado por las actividades humanas, los cambios en la temperatura afectan a los proyectos de infraestructura en sus diferentes fases. Se presenta y analiza información relativa a temperatura media, máxima y mínima.

- Temperatura media:
 - En la tabla VIII se presentan valores promedio por año para cada estación y la gráfica respectiva.
 - En la tabla IX se presentan los valores mayor y menor, y el año en que se registraron, para cada estación.

Tabla VIII. Resultados temperatura media 2001-2010



Fuente: elaboración propia.

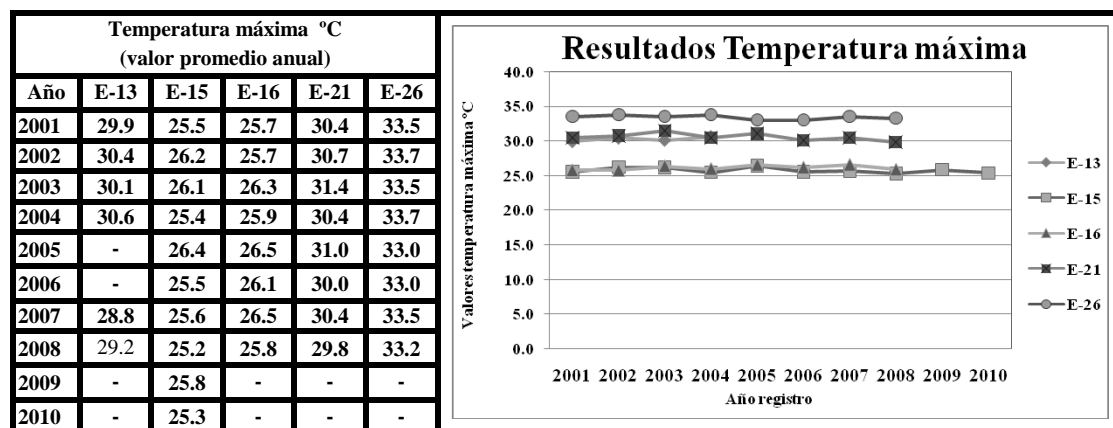
Tabla IX. Resultados temperatura media valores promedio anual °C / año registros mayor y menor

Temperatura media valores máximo y mínimo °C / año (valor promedio anual)									
E-13		E-15		E-16		E-21		E-26	
Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
25.3	24.1	25.9	19.7	19.2	18.2	27.2	26.4	25.0	27.7
2004	2007	2003	2007	2006	2008	2004	2007	2004	2007

Fuente: elaboración propia.

- Temperatura máxima:
 - En la tabla X se presentan valores promedio por año para cada estación y la gráfica respectiva.
 - En la tabla XI se presentan los valores mayor y menor, el mes y año en que se registraron, para cada estación.

Tabla X. Resultados temperatura máxima 2001-2010



Fuente: elaboración propia.

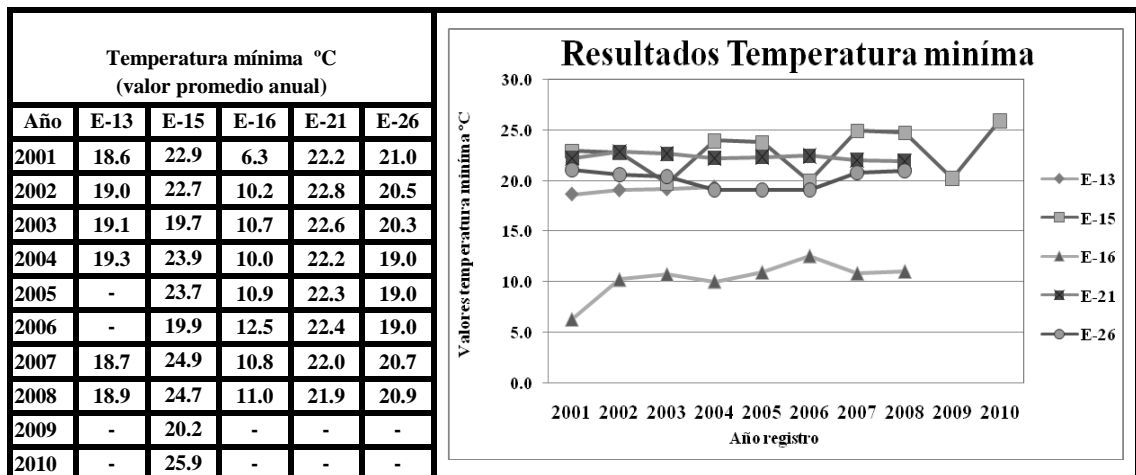
Tabla XI. Resultados temperatura máxima valor promedio mensual (°C)
registros mayor y menor / mes

Temperatura máxima anual, valores promedio mensual (registros mayor y menor) / mes (°C)											
Año	E-13		E-15		E-16		E-21		E-26		
	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	
2001	31.7 febrero	26.9 mayo	27.9 marzo	12.1 enero	28.1 marzo	24.3 octubre, noviembre	32.8 junio	23.1 diciembre	32.9 marzo	27.9 marzo	
2002	31.8 ene, feb, abr	28.3 sept	28.4 enero	13.2 abril	29.9 junio	24.3 noviembre	32.9 septiembre	28.1 diciembre	28.4 abril	28.4 abril	
2003	31.9 febrero	28.2 junio	28.5 enero	12.5 abril, dic	30.1 marzo	23.9 enero, diciembre	33.7 mayo, junio	25.4 enero	28.5 abril	28.5 abril	
2004	--	--	13.4 marzo	26.8 abril	27.1 marzo, abril	24.5 diciembre	33.1 septiembre	27.6 diciembre	26.8 abril	26.8 abril	
2005	--	--	29.9 marzo	29.9 marzo	29.2 abril	24.2 enero	---	-----	29.9 marzo	29.9 marzo	
2006	--	--	27.1 abril	27.1 abril	29.6 abril	24.3 diciembre	31.6 mayo	26.7 enero	27.1 abril	27.1 abril	
2007	--	--	28.0 abril	28.0 abril	29.3 abril	23.7 noviembre	32.9 mayo	23.0 enero, dic	28.0 abril	28.0 abril	
2008	30.2 diciembre	27.7 octubre	27.6 abril	27.6 abril	30.0 abril	23.7 diciembre	32.1 mayo, sept	26.7 diciembre	27.6 abril	27.6 abril	
2009	--	--	27.4 abril	27.4 abril	--	--	---	--	27.4 abril	27.4 abril	
2010	--	--	27.9 marzo	27.9 marzo	--	--	---	--	27.9 marzo	27.9 marzo	

Fuente: elaboración propia.

- Temperatura mínima:
 - En la tabla XII se presentan valores promedio por año para cada estación y la gráfica respectiva.
 - En la tabla XIII se presentan los valores mayor y menor, el mes y año en que se registraron, para cada estación.

Tabla XII. **Resultados temperatura mínima 2001-2010**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Resultados temperatura mínima valor promedio mensual (°C)
registros mayor y menor / mes**

Temperatura mínima anual, valor promedio mensual (registros mayor y menor) / mes (°C)										
Año	E-13		E-15		E-16		E-21		E-26	
	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor
2001	17.3 marzo	20.3 agosto	16.8 agosto	12.1 enero	13.5 mayo	5.7 enero	24.0 junio	19.4 enero	16.8 agosto	12.1 enero
2002	20.4 agosto	17.9 noviembre	17.1 junio	13.2 enero	13.1 junio	6.3 enero	24.4 °C junio	20.4 enero	16.8 agosto	12.1 enero
2003	20.0 agosto	17.9 febrero	17.5 mayo	12.1 enero, dic	13.4 mayo	5.9 diciembre	24.5 mayo	19.0 febrero	16.8 agosto	12.1 enero
2004	--	--	17.2 junio	13.4 enero, dic	12.9 octubre	6.2 enero	23.9 septiembre	19.5 enero	16.8 agosto	12.1 enero
2005	--	--	17.0 junio	11.9 enero	14.2 junio	4.5 enero	--	--	16.8 agosto	12.1 enero
2006	--	--	16.7 agosto	12.3 febrero	14.2 junio	6.8 febrero	23.9 julio	20.0 enero, febrero	16.8 agosto	12.1 enero
2007	--	--	17.3 mayo	13.6 dic	13.7 junio	6.9 diciembre	23.8 junio	19.5 noviembre	16.8 agosto	12.1 enero
2008	20.7 diciembre	17.2 febrero	16.8 mayo	13.2 dic	13.3 mayo	5.9 enero	23.7 agosto	19.5 noviembre	16.8 agosto	12.1 enero
2009	17.3 marzo	20.3 agosto	17.6 sept	13.3 feb, mar	--	--	--	--	16.8 agosto	12.1 enero
2010	17.3 marzo	20.3 agosto	18.1 mayo	12.1 dic	--	--	--	--	16.8 agosto	12.1 enero

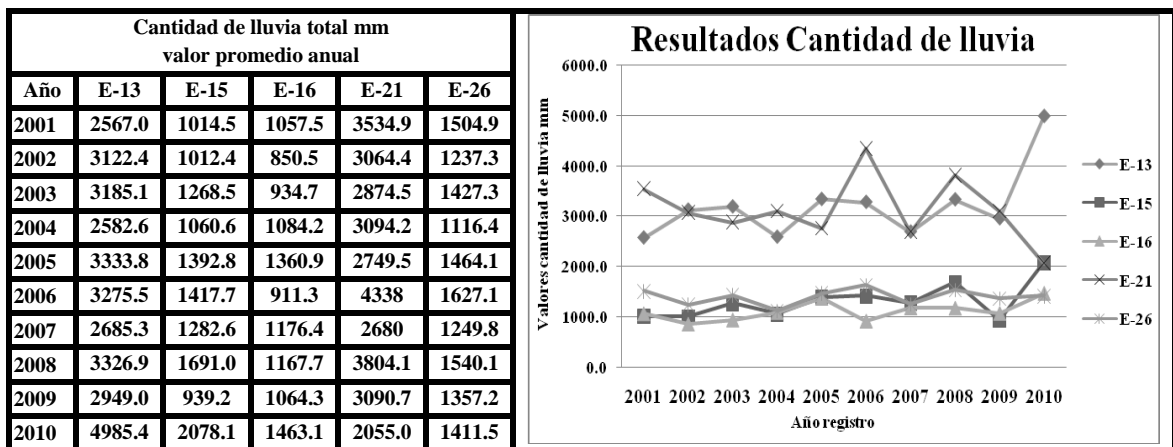
Fuente: elaboración propia.

4.2.1.2. Lluvia

Las variaciones climáticas alteran los componentes del ciclo hidrológico; los cambios en el régimen de lluvias afectan a los proyectos de infraestructura y de otros tipos en sus diferentes fases. Se presenta y analiza información relativa a la cantidad total de lluvia y días de lluvia.

- Cantidad total de lluvia:
 - En la tabla XIV se presentan valores promedio por año, para cada estación y la gráfica respectiva.
 - En la tabla XV se presentan los valores mayor y menor, mes y año en que se registraron, para cada estación.

Tabla XIV. **Resultados cantidad de lluvia 2001-2010**



Fuente: elaboración propia.

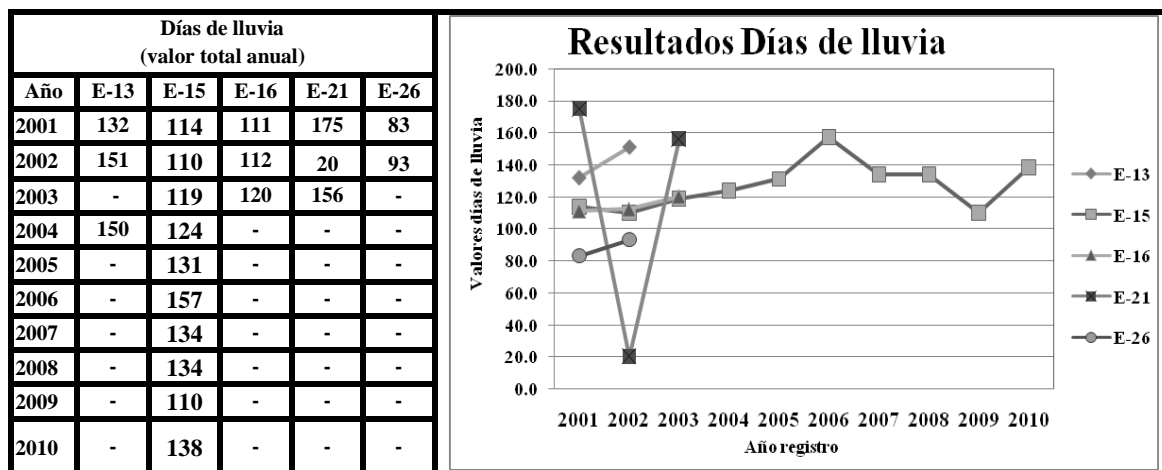
Tabla XV. **Resultados cantidad total de lluvia promedio mensual (mm)
registros mayor y menor / mes**

Cantidad total de lluvia valores promedio mensual (mm) registros mayor y menor / mes										
Año	E-13		E-15		E-16		E-21		E-26	
	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor
2001	470.3 mayo	0 diciembre	223.3 agosto	1.1 enero	251.6 septiembre	0 Enero	578.5 octubre	65.7 marzo	401.2 septiembre	0 ene, feb, mar
2002	750.8 mayo	0 enero, febrero	242.9 septiembre	0.0 enero	196.6 agosto	0 enero	507.8 noviembre	94.7 abril	316.4 septiembre	0 ene, mar, dic
2003	625.5 octubre	0.2 diciembre	374.2 septiembre	0.9 enero	301.4 junio	0 enero	605.5 noviembre	68.6 abril	443.4 septiembre	0 febrero, diciembre
2004	530.6 septiembre	0 enero	314.5 junio	0.2 enero	278.0 septiembre	0.2 enero	506.8 noviembre	71.0 septiembre	239.2 mayo	0 marzo, diciembre
2005	757.0 junio	0 enero, febrero	415.1 julio	0.0 febrero	297.3 septiembre	0 enero	398.1 septiembre	101.6 marzo	320.4 junio	0 ene, feb, dic
2006	601.7 junio	0 Enero	449.8 agosto	0.4 enero	209.5 junio	0 enero	775.5 junio	105.6 mayo	405.8 junio	0 ene, mar
2007	604.1 junio	0 enero	333.0 agosto	0.0 febrero	277.7 junio	0 enero	507.4 septiembre	29.1 mayo	330.1 junio	0 enero, febrero
2008	777.2 septiembre	0 diciembre	460.3 junio	0.0 noviembre, diciembre	316.2 septiembre	0 enero	584.7 octubre	110.8 marzo	391.0 junio	0 noviembre, diciembre
2009	610.8 mayo	7.0 marzo	189.6 junio	0.0 enero	233.1 junio	0 enero, febrero	549.6 julio	64.1 marzo	311.2 mayo	0 enero marzo
2010	--	--	470.8 agosto	0.0 enero, marzo, diciembre	351.5 agosto	0 enero, febrero	--	--	--	--

Fuente: elaboración propia.

- Días de lluvia:
 - En la tabla XVI se presentan valores promedio por año para cada estación y la gráfica respectiva.
 - En la tabla XVII se presentan los valores mayor y menor, mes y año en que se registraron, para cada estación.

Tabla XVI. Resultados días de lluvia 2001-2010



Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. Resultados días de lluvia valor promedio mensual (número total) registros mayor y menor / mes

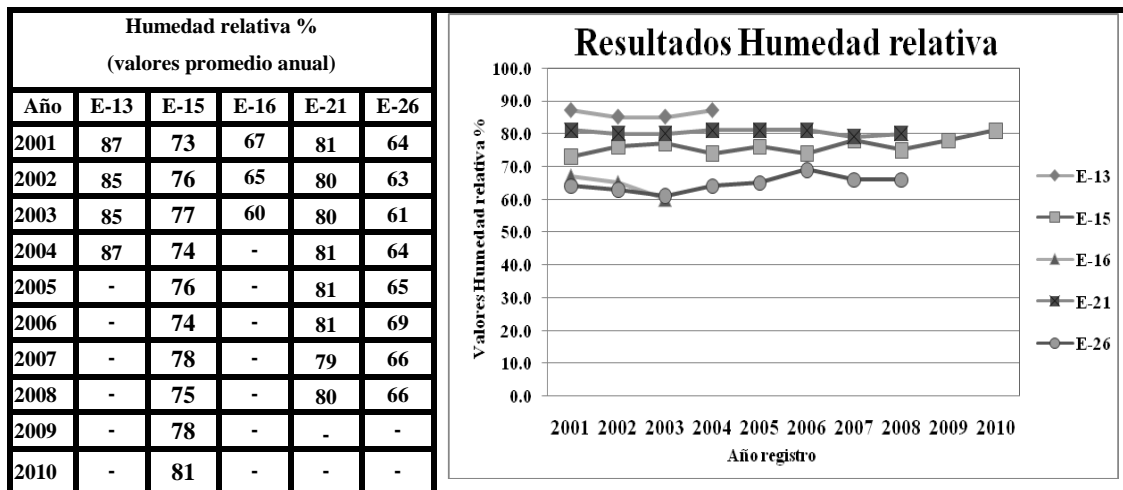
Número total de días de lluvia, valor promedio mensual registros máximo y mínimo / mes										
Año	E-13		E-15		E-16		E-21		E-26	
	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor
2001	24 septiembre	0 diciembre	22 septiembre	2 ene,mar, abr, dic	22 septiembre	0 enero	24 agosto	2 marzo	19 septiem bre	0 ene,feb, mar
2002	28 septiembre	0 enero, febrero	25 septiembre	0 ene,mar, abr, dic	24 septiembre	0 enero, febrero	--	--	16 junio, julio	0 ene,feb, mar, dic
2003	--	--	--	--	--	--	28 agosto	5 abril	--	--
2004	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2005	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2006	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2007	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2008	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2009	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2010	--	--	29 agosto	0 ene,mar, dic	--	-	22 septiembre	2 ene,mar, abr, dic	--	--

Fuente: elaboración propia.

4.2.1.3. Humedad relativa

- En la tabla XVIII se presentan valores promedio por año, para cada estación y la gráfica respectiva.
- En la tabla XIX se presentan los valores mayor y menor, mes y año en que se registraron, para cada estación.

Tabla XVIII. Resultados humedad relativa 2001-2010



Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Humedad relativa valores promedio mensual (%) registros mayor y menor / mes**

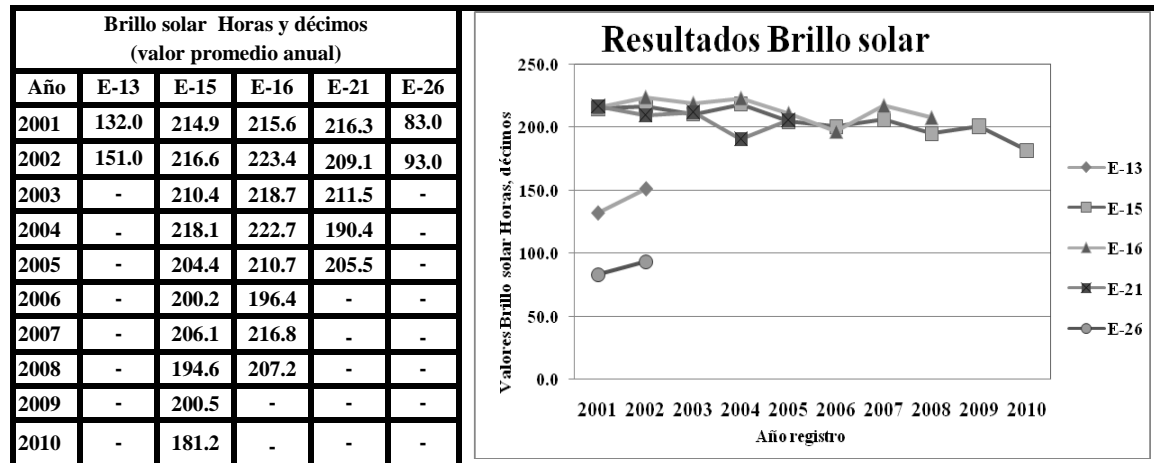
Humedad relativa valores promedio mensual registros mayor y menor / mes										
Año	E-13		E-15		E-16		E-21		E-26	
	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor
2001	24 septiembre	0 diciembre	79 septiembre	68 abril	22 septiembre	0 enero	24 agosto	2 marzo	--	--
2002	28 septiembre	0 enero, febrero	85 septiembre	67 febrero, abril	24 septiembre	0 enero, febrero	--	--	--	--
2003	--	--	84 junio	69 diciembre	--	--	28 agosto	5 abril	--	--
2004	--	--	83 septiembre	71 ene, feb, dic	--	--	--	--	--	--
2005	--	--	85 junio	66 febrero	--	--	--	--	--	--
2006	--	--	81 octubre	63 mayo	--	--	--	--	--	--
2007	--	--	85 agosto	69 enero	--	--	--	--	--	--
2008	--	--	80 septiembre, diciembre	66 abril	--	--	--	--	--	--
2009	--	--	86 septiembre	71 marzo, abril	--	--	--	--	--	--
2010	--	--	94 septiembre	69 noviembre	--	-	22 septiembre	2 ene, mar, abr, dic	--	--

Fuente: elaboración propia.

4.2.1.4. Brillo solar

- En la tabla XX se presentan valores promedio por año, para cada estación y la gráfica respectiva.
- En la tabla XXI se presentan los valores mayor y menor, mes y año en que se registraron, para cada estación.

Tabla XX. Resultados brillo solar 2001-2010



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. Resultados brillo solar valor promedio mensual (Horas y décimos) registros mayor y menor / mes

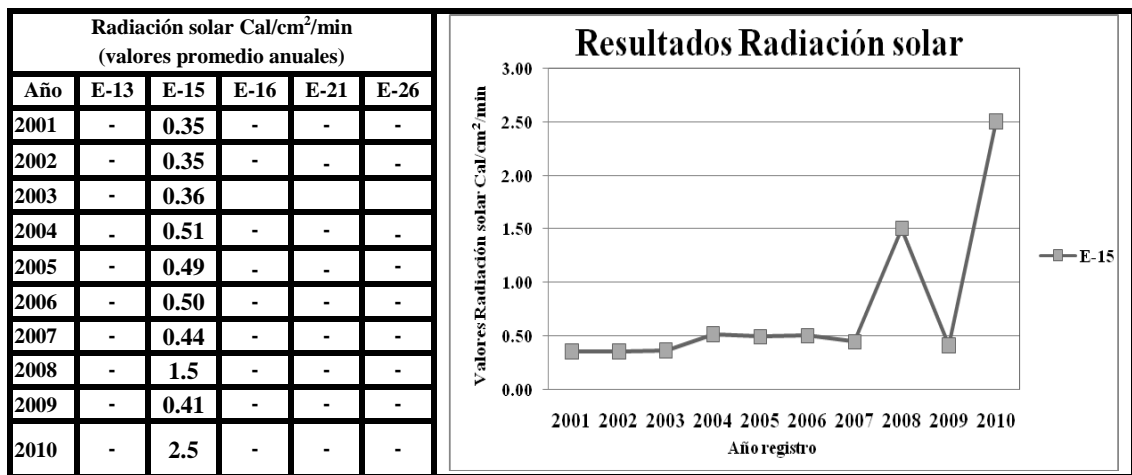
Brillo solar, valor promedio mensual registros mayor y menor / mes										
Año	E-13		E-15		E-16		E-21		E-26	
	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor
2001	--	--	266.6 enero	155.0 mayo	--	--	--	--	--	--
2002	--	--	266.2 marzo	123.0 septiembre	--	--	--	--	--	--
2003	--	--	263.9 enero	138.0 mayo	--	--	--	--	--	--
2004	--	--	261.0 abril	174.0 junio	--	--	--	--	--	--
2005	--	--	282.1 enero	158.1 octubre	--	--	--	--	--	--
2006	--	--	246.0 enero	135.1 junio	--	--	--	--	--	--
2007	--	--	252.0 enero	152.9 septiembre	--	--	--	--	--	--
2008	--	--	239.8 marzo	113.8 junio	--	--	--	--	--	--
2009	--	--	250.4 enero	152.7 junio	--	--	--	--	--	--
2010	--	--	264.0 enero	111 septiembre	--	-	--	--	--	--

Fuente: elaboración propia.

4.2.1.5. Radiación solar

- En la tabla XXII se presentan valores promedio por año para cada estación y la gráfica respectiva.
- En la tabla XXIII se presentan los valores mayor y menor, mes y año en que se registraron, para cada estación.

Tabla XXII. Resultados radiación solar 2001-2010



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Resultados radiación solar valor promedio mensual
(Cal/cm²/min) registros mayor y menor / mes**

Radiación solar valor promedio mensual registros mayor y menor / mes										
Año	E-13		E-15		E-16		E-21		E-26	
	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor
2001	--	--	0.53 agosto	0.26 abril	--	--	--	--	--	--
2002	--	--	0.43 abril	0.28 septiembre	--	--	--	--	--	--
2003	--	--	0.45 diciembre	0.30 mayo	--	--	--	--	--	--
2004	--	--	0.59 abril	0.47 mayo, noviembre	--	--	--	--	--	--
2005	--	--	0.55 abril	0.40 septiembre	--	--	--	--	--	--
2006	--	--	0.58 marzo	0.38 Mayo	--	--	--	--	--	--
2007	--	--	0.58 Abril	0.40 Ago, sep, oct, dic	--	--	--	--	--	--
2008	--	--	0.60 febrero, abril	0.40 jul, ago, sep, dic	--	--	--	--	--	--
2009	--	--	0.50 ene, feb, may	0.34 Diciembre	--	--	--	--	--	--
2010	--	--	0.48 octubre	0.28 Agosto	--	-	22 septiembre	2 ene, mar, abr, dic	--	--

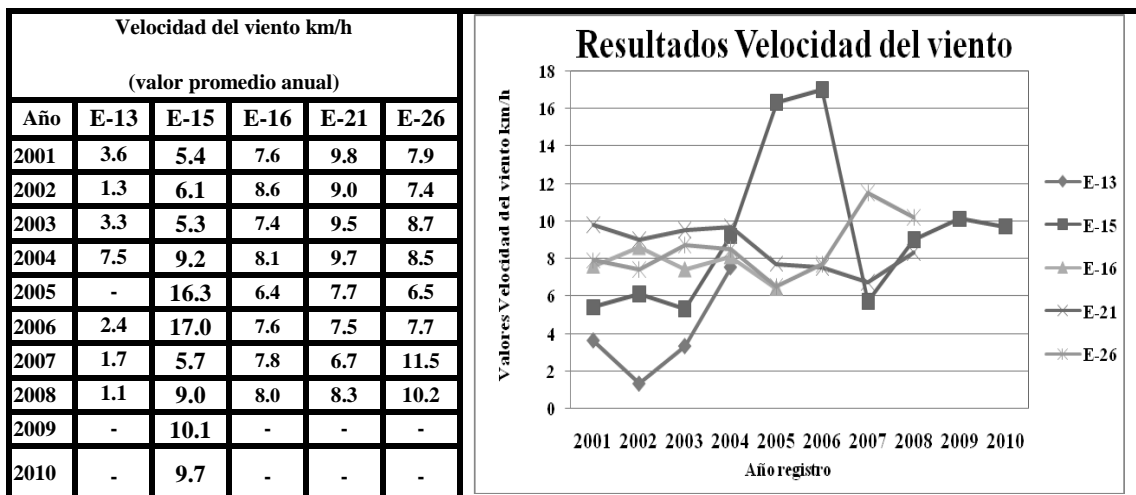
Fuente: elaboración propia.

4.2.1.6. Viento

El viento sin dudas es muy beneficioso al provocar la remoción del aire y que en ciertos casos puede ser aprovechado como fuente de energía alterna, se determina la dirección de mayor frecuencia de para todos los meses del año. Se presenta y analiza información relativa a la velocidad y dirección del viento.

- Velocidad del viento
 - En la tabla XXIV se presentan valores promedio por año, para cada estación y la gráfica respectiva.
 - En la tabla XXV se presentan los valores (mayor y menor) y el mes y año en que se registraron para cada estación.

Tabla XXIV. **Resultados velocidad del viento 2001-2010**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Resultados velocidad del viento valor promedio mensual registros mayor y menor / mes**

Velocidad del viento valor promedio mensual (km/h)										
registros mayor y menor / mes										
Año	E-13		E-15		E-16		E-21		E-26	
	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor
2001	24 septiembre	0 diciembre	7.2 enero	3.6 mayo	22 septiembre	0 enero	24 agosto	2 marzo	24 agosto	2 marzo
2002	28 septiembre	0 enero, febrero	11.9 abril	3.7 junio	24 septiembre	0 enero, febrero	--	--	--	--
2003	--	--	8.8 febrero	2.6 septiembre	--	--	28 agosto	5 abril	28 Agosto	5 abril
2004	--	--	13.3 diciembre	5.8 febrero	--	--	--	--	--	--
2005	--	--	21.7 noviembre	12.1 junio	--	--	--	--	--	--
2006	--	--	24.2 enero	6.9 octubre	--	--	--	--	--	--
2007	--	--	7.9 mayo	4.1 agosto	--	--	--	--	--	--
2008	--	--	11.6 octubre	6.4 enero	--	--	--	--	--	--
2009	--	--	13.7 febrero	7.8 junio	--	--	--	--	--	--
2010	--	--	12.6 enero	7.7 septiembre	--	-	22 septiembre	2 ene, mar, abr, dic	22 septie mbre	2 ene, mar, abr, dic

Fuente: elaboración propia.

- Dirección del viento
 - En la tabla XXVI se presentan valores promedio por año para cada estación.

Tabla XXVI. **Resultados dirección del viento 2001-2010**

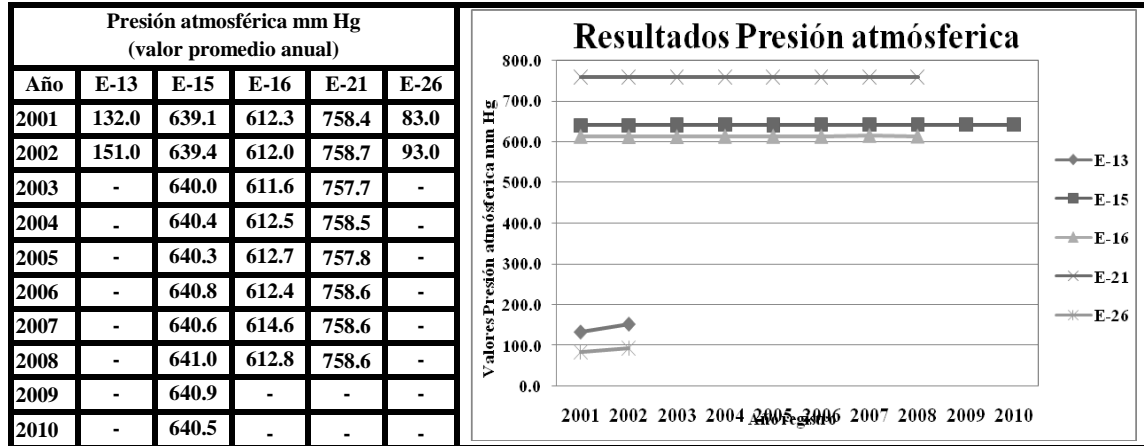
Dirección del viento Grados (valor promedio anual)					
Año	E-13	E-15	E-16	E-21	E-26
2001	-	VAR	N	-	360
2002	-	NW	N	-	N
2003	-	VAR	N	-	N
2004	-	N	VAR	-	N
2005	-	N	N	-	N
2006	-	N	Calma	-	N
2007	-	VAR	Calma	-	N
2008	-	N	Calma	-	N
2009	-	N	-	-	-
2010	-	N	-	-	-

Fuente: elaboración propia.

4.2.1.7. Presión atmosférica

- En la tabla XXVII se presentan valores promedio por año para cada estación y la gráfica respectiva.
- En la tabla XXVIII se presentan los valores mayor y menor, mes y año en que se registraron, para cada estación.

Tabla XXVII. Resultados presión atmosférica 2001-2010



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Presión atmosférica valor promedio mensual (mm Hg)
registros mayor y menor / mes**

Presión atmosférica valor promedio mensual registros mayor y menor / mes										
Año	E-13		E-15		E-16		E-21		E-26	
	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor
2001	24 septiembre	0 diciembre	640.2 Febrero	638.4 abr, jul, dic	22 septiembre	0 enero	24 agosto	2 marzo	24 agosto	2 marzo
2002	28 septiembre	0 enero, febrero	641.1 Julio	637.9 septiembre	24 septiembre	0 enero, febrero	--	--	--	--
2003	--	--	641.9 diciembre	638.4 febrero	--	--	28 agosto	5 abril	28 agosto	5 abril
2004	--	--	641.7 enero	639.0 septiembre	--	--	--	--	--	--
2005	--	--	641.5 diciembre	639.4 abril, junio	--	--	--	--	--	--
2006	--	--	641.7 diciembre	640.0 octubre, noviembre	--	--	--	--	--	--
2007	--	--	641.7 diciembre	639.0 octubre	--	--	--	--	--	--
2008	--	--	642.3 diciembre	639.9 septiembre	--	--	--	--	--	--
2009	--	--	642.2 enero	639.5 noviembre	--	--	--	--	--	--
2010	--	--	643.0 diciembre	639.0 mayo	--	-	22 septiembre	2 ene, mar, abr, dic	22 septiem bre	2 ene, mar, abr, dic

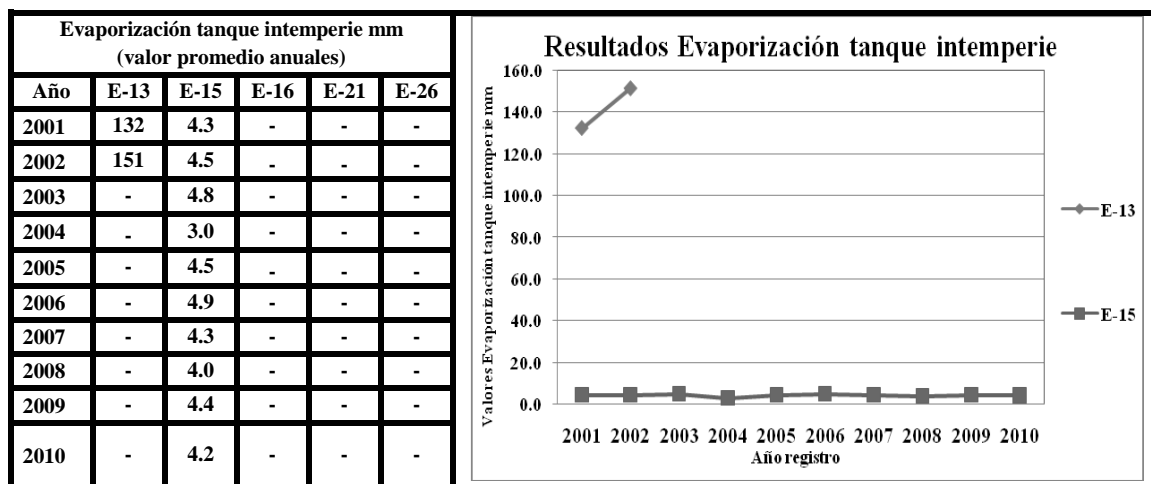
Fuente: elaboración propia.

4.2.1.8. Evaporización

Las variaciones en la evapotranspiración cambian la escorrentía superficial y subterránea aumentando o disminuyendo los niveles de los cuerpos de aguas como los ríos, lagos y mares.

- Evaporización intemperie:
 - En la tabla XXIX se presentan valores promedio por año para cada estación y la gráfica respectiva.
 - En la tabla XXX se presentan los valores mayor y menor, mes y año en que se registraron, para cada estación.

Tabla XXIX. **Resultados evaporización tanque intemperie 2001-2010**



Fuente: elaboración propia.

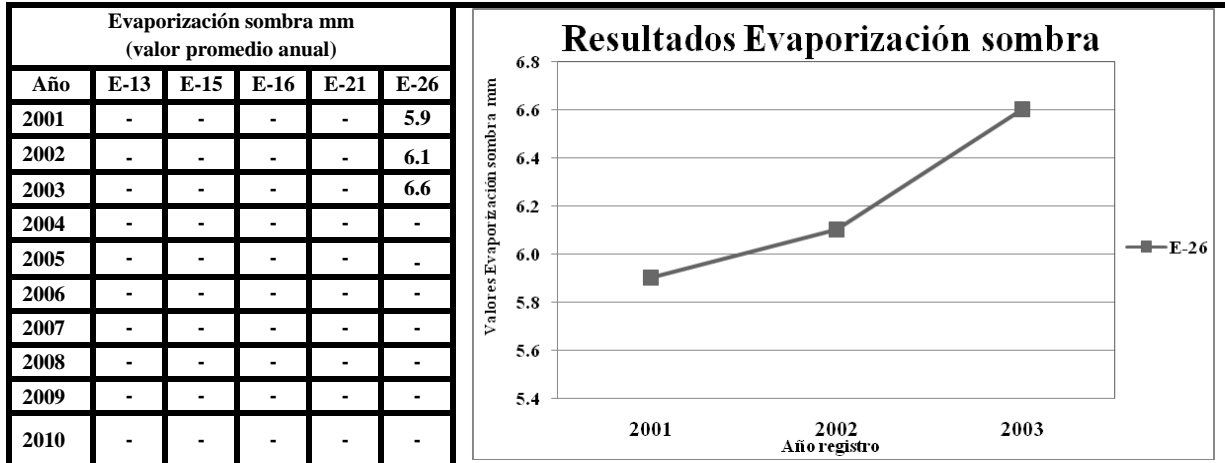
Tabla XXX. **Evaporización tanque intemperie valor promedio mensual (mm) registros mayor y menor / mes**

Evaporización tanque intemperie valor promedio mensual , registros mayor y menor / mes										
Año	E-13		E-15		E-16		E-21		E-26	
	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor
2001	24 septiembre	0 diciembre	5.7 junio	3.8 may, nov, dic	22 septiembre	0 enero	24 agosto	2 marzo	24 agosto	2 marzo
2002	28 septiembre	0 ene, feb	5.7 abril	3.7 julio	24 septiembre	0 ene, feb	--	--	--	--
2003	--	--	6.7 enero	3.2 septiembre	--	--	28 agosto	5 abril	28 agosto	5 abril
2004	--	--	4.2 marzo	1.9 octubre	--	--	--	--	--	--
2005	--	--	6.9 abril	3.3 septiembre	--	--	--	--	--	--
2006	--	--	7.0 may, jun, jul	3.0 octubre	--	--	--	--	--	--
2007	--	--	6.1 marzo	3.3 jun, oct	--	--	--	--	--	--
2008	--	--	5.5 abril	3.0 septiembre	--	--	--	--	--	--
2009	--	--	6.1 marzo	3.6 oct, nov	--	--	--	--	--	--
2010	--	--	6.0 marzo	3.2 agosto	--	-	22 septiembre	2 ene,mar, abr, dic	22 septiem bre	2 ene,mar, abr, dic

Fuente: elaboración propia.

- Evaporización sombra
 - En la tabla XXXI se presentan valores promedio por año, para cada estación y la gráfica respectiva.

Tabla XXXI. Resultados evaporización sombra 2001-2010

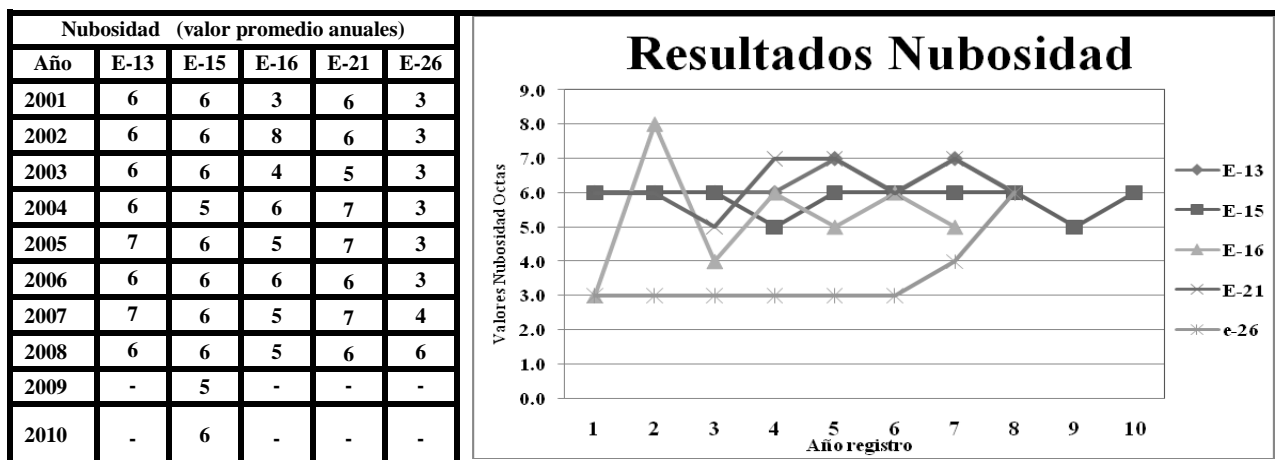


Fuente: elaboración propia.

4.2.1.9. Nubosidad

- En la tabla XXXII se presentan valores promedio por año, para cada estación y la gráfica respectiva.

Tabla XXXII. Resultados nubosidad 2001-2010



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. La variabilidad del clima y el cambio climático, el uso irracional del suelo y la tala inmoderada de bosques, plantean cada vez más peligros a causa de las crecidas de ríos y mares, el deterioro de la infraestructura de las autovías y las alteraciones de la seguridad vial.
2. Para la planificación de grandes infraestructuras, la tendencia que se sigue es la de incorporar equipos interdisciplinarios de profesionales que abarquen los diversos temas.
3. El desarrollo de los nuevos proyectos de ingeniería debe ser integral, es decir, que contemple aspectos técnicos, económicos y ambientales; así como la evaluación del proyecto, la tecnología en la utilización de materiales de construcción y que estos sean de calidad.
4. El clima es factor determinante en el diseño de las viviendas, traduciendo la relación existente entre clima y arquitectura en la búsqueda de las condiciones óptimas de confort térmico. El estudio detallado del confort ambiental durante la planeación, programación, y el proceso de diseño de proyectos de infraestructura mejora, el grado de satisfacción de los usuarios en su fase de operación (vida útil).
5. En el clima de las zonas intertropicales las temperaturas medias son altas, con variaciones poco acusadas entre día-noche y estacionales. La humedad es muy alta, frecuente nebulosidad y fuertes precipitaciones irregulares.

6. El aire reúne tres de los cuatros parámetros que condicionan la sensación térmica: su temperatura, humedad (contenido de vapor de agua) y movimiento (velocidad). Sumado a estos, la radiación solar, que juntos, forman los elementos principales que afectan la comodidad.
7. El conocimiento del tiempo previsto a escala global, regional y local debe tenerse en cuenta en la toma de decisiones relevantes en el diseño de infraestructuras. Conocer el clima, "tiempo pasado", de una determinada región y cómo fluctúan las variables meteorológicas a lo largo del año y durante las estaciones climáticas, puede facilitar a las empresas una herramienta de trabajo para planificar actividades como construcción, ingeniería, arquitectura, turismo, industria alimentaria y textil, agricultura, recursos hídricos etc.
8. Es necesario el establecimiento de redes de informática ambiental y que los actores involucrados tengan acceso a dicha información.
9. El "efecto de isla de calor urbano" es causado por la tendencia que tienen el concreto, caminos y edificios, al calentarse a elevadas temperaturas durante el día.
10. El cambio climático afectará a la eficacia, eficiencia, seguridad y fiabilidad de las infraestructuras de transporte existentes y al diseño de proyectos nuevos. Los cambios de las condiciones meteorológicas requieren ajustes en el funcionamiento diario de los sistemas de transporte, mientras que el cambio climático hace necesario que haya que efectuar ajustes en su infraestructura.

RECOMENDACIONES

1. Para cualquier diseño de obras de infraestructura es necesario conocer los registros históricos de los parámetros meteorológicos de interés.
2. Es necesario considerar que cada uno de los parámetros meteorológicos afectan de diferente forma y en diferente fase a los proyectos de infraestructura.
3. Es conveniente que la información meteorológica sea difundida entre los interesados y relacionados con la construcción, los responsables del diseño, construcción y mantenimiento de las estructuras. Dicha información no debe tener restricciones, pues debe ser de observancia general.
4. Utilizar la vegetación como elemento de control térmico, proporcionando sombra y minimizando los efectos del calor. En la sombra de mediodía de los árboles la temperatura puede ser casi 3 °C más baja que bajo el sol en las mismas condiciones. La diferencia de protección ofrecida por vegetación, elementos sólidos o edificios depende no solo de su altura sino también del grado de permeabilidad.
5. Utilizar elementos que sean soluciones económicas y funcionales en el control de la radiación. Los materiales de absorción y emisión selectivas constituyen una defensa eficaz y eficiente contra los impactos de la radiación (materiales blancos pueden reflejar el 90% o más de radiación recibida, mientras que los negros solamente 15% o menos).

6. Realizar planes y programas para forestar y reforestar las zonas perimetrales a las construcciones de infraestructura, para hacer uso racional del suelo y mejorar las condiciones de vida de las comunidades, dotándolas de un ambiente más sano.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALMOROX, Alonso Javier. *Aplicaciones de la climatología y meteorología*. España: Editorial Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, 2010. 201 p. ISBN: 9788474011791.
2. ASTM. *Book of standars*. [en línea]. Guatemala, 5 de enero de 2011. [ref. 18 de junio de 2011]. Disponible en Web: http://global.ihs.com/images/ENGL/astm_catalog.pdf. 12 p.
3. COGUANOR. *Normas relacionadas con la industria de la construcción*. [en línea]. Guatemala, enero de 2010. [ref. julio de 2011]. Disponible en Web: <http://www.coguanor.gob.gt/index.php?id=119>.
4. FERNÁNDEZ, Analia; SCHILLER, Silvia. *Sol y viento: de la investigación al diseño*. Centro de Investigación "Hábitat y Energía" CIHE. Buenos Aires: Instituto de Arquitectura Tropical, 1993. 72 p.
5. INSIVUMEH. *Boletines Meteorológicos*. [en línea]. Guatemala, 14 de julio de 2011. [ref. de 18 de agosto de 2011]. Boletín. Disponible en Web: <http://www.insivumeh.gob.gt/principal/alertas.htm>.
6. RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, Fernando Gonzalo. *Ingeniería sostenible: nuevos objetivos en los proyectos de construcción*. [en línea]. Agosto de 2010. vol. 25, núm. 2 [ref. de 11 de junio de 2011], Disponible en Web: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071850732010000200001&lng=es&nrm=iso. p. 160. ISSN 0718-5073.

7. SHUFORD, Scott; McGUIRK, Marjorie. *Boletín Tiempo, Clima y Agua. Implicaciones de las condiciones meteorológicas y el cambio climático en el transporte por superficie en los Estados Unidos.* vol. 58, núm. 2. USA: abril 2009. 68 p.

8. ZAMORA CORDERO, Mario. *La atención de los desastres naturales en Centroamérica.* Seguridad 28. Abril. Costa Rica: Instituto Universitario de la Paz y los Conflictos, 2006. 120 p.