



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO
PROGRAMA EDUCATIVO DE ARQUITECTURA



**SISTEMA PASIVO DE CLIMATIZACIÓN POR CONDUCCIÓN PARA LA
ESTABILIZACIÓN TÉRMICA DEL AIRE EN LA CIUDAD DE ENSENADA, B.C**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

ARQUITECTO

PRESENTA:

RODRIGUEZ DELGADO ASHLY ADANESNE

Correo electrónico UABC: ashly.rodriguez@uabc.edu.mx

Correo personal: asmiyu_rod@hotmail.com

Director de tesis: Dr. Francisco Fernández Melchor

Identificador ORCID: orcid.org/0000-0003-1669-7327

Co-Director de tesis: Dr. Arq. Julio César Rincón Martínez

Identificador ORCID: orcid.org/0000-0002-1946-3609

Ensenada B.C., Febrero de 2021.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO
PROGRAMA EDUCATIVO DE ARQUITECTURA



**SISTEMA PASIVO DE CLIMATIZACIÓN POR CONDUCCIÓN PARA LA
ESTABILIZACIÓN TÉRMICA DEL AIRE EN LA CIUDAD DE ENSENADA, B.C**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

ARQUITECTO

PRESENTA:

RODRIGUEZ DELGADO ASHLY ADANESNE

Correo electrónico UABC: ashly.rodriquez@uabc.edu.mx

Correo personal: asmiyu_rod@hotmail.com

Director de tesis: Dr. Francisco Fernández Melchor

Identificador ORCID: orcid.org/0000-0003-1669-7327

Co-Director de tesis: Dr. Arq. Julio César Rincón Martínez

Identificador ORCID: orcid.org/0000-0002-1946-3609

Ensenada B.C., Febrero de 2021.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO

**SISTEMA PASIVO DE CLIMATIZACIÓN POR CONDUCCIÓN PARA LA ESTABILIZACIÓN
TÉRMICA DEL AIRE EN LA CIUDAD DE ENSENADA, B.C**

TESIS

**PARA CUBRIR LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE
ARQUITECTO**

PRESENTA:

RODRIGUEZ DELGADO ASHLY ADANESNE

Aprobada por:



Dr. Francisco Fernández Melchor
Director
(Presidente)



Dr. Julio César Balcón Martínez
Codirector
(Secretario)



Dra. Karen Estrella Martínez Torres
Sinodal
(Vocal)



Dr. González Trevizo Marcos E.
Sinodal
(Vocal)

Ensenada, B. C., enero de 2021

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico a mis Padres principalmente por el apoyo a lo largo de todos mis estudios, porque gracias a la educación y valores que me inculcaron soy la persona que soy, porque nunca dudaron de mí al contrario siempre me hacían esforzarme cada día más en mis estudios, porque creyeron siempre en mí en mis metas, por ser ejemplos de trabajo y esfuerzo a lo largo de mi vida, porque nunca quitaron su apoyo de mí, porque a pesar de todas las circunstancias económicas, familiares y personales siempre dieron su 110% por mí, siempre encontraban la manera de apoyarme en todo momento y no dejarme caer nunca.

Individualmente mis Padres han sido grandes ejemplos para mí y de cada uno he aprendido muchísimo, de mi Madre he aprendido que debo levantarme cada día y trabajar por las metas que yo deseo, que debo ser constante en todo momento y cuando me sienta cansada o desanimada de algo nunca hay un fin, siempre hay alguna solución para toda circunstancia.

De mi Padre he aprendido a ser responsable en todo momento, a ser líder, sacar al equipo adelante a no solo pensar en mí y ser individualista si no pensar como equipo y trabajar todos juntos para un fin en común, a tener buena comunicación con los que me rodean, y a pensar que nada es imposible, que todo es posible acorde al esfuerzo que tu como persona le inviertas por ese sueño.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco todas las pruebas que he tenido a lo largo de mi vida tanto personal como escolar, porque gracias a esas pruebas he mejorado y me han hecho crecer como persona cada día, me han enseñado algo distinto que me ha hecho reflexionar y mejorar como tal.

También a mi director de tesis que estuvo junto conmigo en el transcurso de toda la elaboración de la misma, ayudándome a mejorar cada día más el contenido de la información y básicamente apoyándome a cualquier hora del día, así como también a mi Co-director de tesis que también intervino y presto de su tiempo para la elaboración de la tesis.

Agradezco a todas las personas que creyeron en mí, familia y amigos que tuvieron siempre esperanza en que lograría concluir esta etapa académica, que me dieron ánimo y fortaleza para continuar siempre cada día.

Finalmente estoy agradecida a mí misma, por luchar cada día y dar lo mejor de mí en cada etapa escolar, doy gracias por ser fuerte, constante, responsable, enfocada y por siempre continuar y nunca darme por vencida en el camino.

RESUMEN

Desde inicios de la segunda mitad del siglo XVIII durante la Revolución Industrial, el progreso tecnológico y la industrialización de los procesos de manufactura, causó un incremento demográfico de las urbes y un aumento exponencial en la demanda de energía y recursos, así como la desvalorización de la importancia del medio ambiente y la facilidad tecnológica para lograr la comodidad humana, pero que en la actualidad es cada vez más evidente el impacto ambiental derivado del uso de equipos activos que hoy en día se utiliza proveniente de un mal diseño arquitectónico que no contempla la armonía del edificio con su contexto natural y que no toma en cuenta las características climáticas y de confort, por ende, se hace un análisis de experimentación de sistema pasivo de climatización por conducción mediante ductos enterrados los cuales se pretende estabilicen la temperatura del aire, ya sea en características de bajas o altas temperaturas, que a través de su recorrido por los ductos este aire sea más caliente o frío acorde al mes requerido. En esta investigación se abordan los criterios generales para el diseño de un sistema de acondicionamiento conductivo indirecto, así como la medida del desempeño de este a baja profundidad en condiciones de sobrecalentamiento el mes de septiembre, y de bajo calentamiento el mes de enero en la ciudad de Ensenada B.C. dicho, análisis que resultó en destacar algunos beneficios por el uso de estas tecnologías pasivas que no demandan de un consumo de energía convencional, obteniendo resultados favorables. Uno de los principales puntos se llevó a cabo con la toma de lecturas de la temperatura de la tierra, aire de entrada y salida de cada mes requerido; en este caso se utilizaron las mediciones de enero como el mes más frío del año y septiembre como el cálido, acorde a los resultados obtenidos se hizo una comparativa para ver si las lecturas obtenidas fueron resultaban en la estabilización de la temperatura del aire; dicho experimento se llevó a cabo por los dos meses ya mencionados, teniendo ya las lecturas se efectuó el análisis en donde se muestra el desempeño durante ambos meses. La experimentación tiene un potencial benéfico en aspectos ambientales, sociales y económicos, en cuanto a lo que pretendía conseguir que era alcanzar niveles de confort térmico dentro de un espacio, llegando a la conclusión, de que un sistema sin necesidad de un consumo de energía elevado, es viable para lograr un confort de la manera más natural posible en un hogar y que al mismo tiempo beneficia la economía de los consumidores, así como sus respectivas bondades para la obtención de temperaturas confortables para la climatización natural de espacios.

Palabras clave: Acondicionamiento conductivo, sistemas pasivos, ductos enterrados, confort térmico.

ABSTRACT

Since the beginning of the second half of the 18th century during the Industrial Revolution, technological progress and the industrialization of manufacturing processes, caused a demographic increase in cities and an exponential increase in the demand for energy and resources, as well as the devaluation of the importance of the environment and the technological ease to achieve human comfort, but that today the environmental impact derived from the use of active equipment that today we are forced to use is increasingly evident, derived from a bad architectural design that does not It contemplates the harmony of the building with its natural context and that does not take into account the climatic and comfort characteristics, therefore, an experimental analysis of the passive cooling system by conduction is made through ducts buried underground which are intended to stabilize the temperature of the air, whether in characteristics of low or high temperatures, that through its rec flowed through the ducts this air is hotter or colder according to the required month. This research addresses the general criteria for the design of an indirect conductive cooling system, as well as the measurement of its performance at low depth in conditions of overheating in September, and underheating in January in the city of Ensenada BC Said analysis resulted in benefits from the use of these passive technologies that do not demand an excessive consumption of conventional energy, obtaining favorable results, the reading of the temperature of the ground, air inlet and outlet, of each required month was taken; In this case, the results of January were used as the coldest month of the year and September as the hot, according to the results obtained, a comparison was made to see if the readings obtained were improving, and it was carried out for the two months already mentioned, having already the readings, the analysis was carried out showing the performance during both months. The experimentation has a beneficial potential in environmental, social and economic aspects, in terms of what it was intended to achieve, which was comfort within a space, which resulted, realizing that a system without the need for so much energy is viable to achieve comfort. In the most natural way possible in a home, which at the same time benefits consumers' pockets, as well as their respective benefits for obtaining comfortable temperatures for the natural air conditioning of spaces.

Keywords: Conductive cooling, passive systems, buried ducts, comfort

ÍNDICE

RESUMEN	III
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1 Problemática	3
1.2 Objetivos	3
1.2.1 General.....	3
1.2.2 Específicos.....	4
1.3 Hipótesis	4
1.3.1 General.....	4
1.3.2 Específicos.....	5
1.4 Metodología	5
1.5 Referentes geográficos	7
1.6 Conclusión	8
2. CAPÍTULO II. ANTECEDENTES.....	9
2.1 Marco teórico	9
2.1.1 Sistemas pasivos de enfriamiento	21
2.1.2 Sistema pasivo de enfriamiento por radiación	21
2.1.3 Sistema pasivo de enfriamiento por evaporación.....	22
2.1.4 Sistema pasivo de enfriamiento por convección	23
2.1.5 Sistema pasivo de enfriamiento por conducción	26
2.2 Estado del arte.....	30
2.3 Conclusión	33
3. CAPÍTULO III. DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....	34
3.1. Tipos de suelo en la ciudad de Ensenada	35
3.1.1. Suelos Phaeozem	35
3.1.2 Suelos cambisol	37
3.1.3 Suelos Leptosol.....	39
3.1.4 Suelos Solonchak.....	40
3.1.5 Suelos Fluvisol.....	41
3.1.6 Suelo Regosol	42
3.2 Clima	44

3.2.1 Temperatura.....	48
3.2.2 Humedad relativa.....	52
3.2.3 Radiación	55
3.2.4 Vientos.....	56
3.3 Experimentación	62
3.3.1 Proyección de sombras en enero.....	65
3.3.2 Proyección de sombras en septiembre.....	67
3.3.3Análisis por incidencia de vientos.....	69
3.3 Conclusiones	71
4. CAPÍTULO IV. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	72
5. CAPÍTULO V. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA EXPERIMENTAL CON SISTEMA PASIVO	80
5.1 Prueba experimental con sistema pasivo de enfriamiento por conducción de tipo indirecto	80
5.2 Prueba experimental en condiciones de sobrecalentamiento	81
5.3 Prueba experimental en condiciones de bajo calentamiento.....	85
CONCLUSIONES.....	90
BIBLIOGRAFIA.....	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Intercambio térmico:.....	11
Tabla 2: Equivalencia térmica	11
Tabla 3: Escala de sensaciones	14
Tabla 4: Modelo PMV	15
Tabla 5: Porcentaje de elementos suelo phaeozem	36
Tabla 6: Porcentaje de elementos suelo cambisol.....	38
Tabla 7: Porcentaje de elementos suelo Fluvisol.....	41
Tabla 8: Porcentaje de elementos suelo regosol	43
Tabla 9: Normales climatológicas periodo (2000-2017)	46
Tabla 10: Comportamiento térmico anual	50
Tabla 11: Comportamiento anual HR.....	53
Tabla 12: Características data logger.....	73
Tabla 13: Prueba en condiciones de sobrecalentamiento.....	81
Tabla 14: Prueba de sobrecalentamiento	83
Tabla 15: Prueba en condiciones de bajo calentamiento	86
Tabla 16: Prueba de bajo calentamiento	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de Ensenada B.C	7
Figura 2: Proceso metabólico	9
Figura 3: Factores que intervienen en el ser humano.....	12
Figura 4: Modelo Auliciems	19
Figura 5: Techo frio.....	22
Figura 6: Sistema evaporativo en un patio.....	24
Figura 7: Funcionamiento de chimenea solar	24
Figura 8: Función de muro trombe en invierno y verano	25
Figura 9: Triboli, Libia	27
Figura 10: Funcionamiento de ductos enterrados en invierno, registró promedio de temperaturas	29
Figura 11: Funcionamiento de ductos enterrados en verano, registró máximo de temperaturas	29
Figura 12: Casa Pomaret.....	31
Figura 13: Casa Pomaret perspectiva	31
Figura 14: Volumetría Casa Pomaret	32
Figura 15: Criterios medio ambientales.....	32
Figura 16: Tipos de suelo de Ensenada B.C	35
Figura 17: Suelo Phaeozem	36
Figura 18: Suelo cambisol	37
Figura 19: Corte estratigráfico, cambisol	38
Figura 20: Suelo Leptosol.....	39
Figura 21: Suelo Solonchak.....	40
Figura 22: Suelo Fluvisol	42
Figura 23: Suelo Regosol	43
Figura 24: Ubicación de la EMA BC02-Ensenada y el Observatorio Sinóptico de Ensenada	44
Figura 25: Agrupación bioclimática	47
Figura 26: Comportamiento mensual de las temperaturas, máxima, media y mínima.....	48
Figura 27: Temperaturas horarias.....	51
Figura 28: Comportamiento mensual HR mínima, media y máxima	52
Figura 29: Humedad relativa horaria	54
Figura 30: Comportamiento mensual, radiación solar.....	55
Figura 31: Desglose detallado del comportamiento del viento.....	57
Figura 32: Rosa anual de los vientos dominantes.....	58
Figura 33: Rosa de los vientos octogonal	59
Figura 34: Rosas mensuales de viento (enero- junio).....	60
Figura 35: Rosas mensuales de viento (junio-diciembre).....	61
Figura 36: Velocidad media del viento.....	62
Figura 37: Ubicación área de experimentación	63
Figura 38: Ubicación zona I, experimentación.....	63
Figura 39: Ubicación zona II, experimentación	64
Figura 40: Ubicación zonas de experimentación.....	64
Figura 41: Enero, 8:00h	65
Figura 42: Enero, 12:00 h.....	66

Figura 43: Enero, 16:00h	66
Figura 44: Septiembre, 8:00 h	67
Figura 45: Septiembre, 12:00h	68
Figura 46: Septiembre, 16:00h	68
Figura 47: Gradiente de presión en área de California	69
Figura 48: Vientos en la ciudad Ensenada.....	70
Figura 49: Zona de experimentación 1, vientos	70
Figura 50: Zona de experimentación 2, vientos.....	71
Figura 51: Pantalla Stevenson	72
Figura 52: Ubicación de data logger.....	73
Figura 53: Data logger	73
Figura 54: Cámara fotográfica	74
Figura 55: Ductos en planta y corte con profundidad de 1.24 m, longitud total de 34.2 m.....	76
Figura 56: Excavación, zona experimentación	77
Figura 57: Colocación de ductos	77
Figura 58: Pantalla de Stevenson.....	78
Figura 59: Sondas para registro de temperatura del aire	79
Figura 60: Sonda temporal para salida de aire.....	79
Figura 61: Ventilador.....	80
Figura 62: Sobre calentamiento, funcionamiento de ductos, promedio.....	81
Figura 63: Resultados, septiembre, sobre calentamiento.....	82
Figura 64: Resultado sobre calentamiento.....	84
Figura 65: Prueba en bajo calentamiento.....	85
Figura 66: Resultados bajo calentamiento, enero	87
Figura 67: Resultados bajo calentamiento	89

INTRODUCCIÓN

El aumento en la demanda de vivienda hoy en día ha producido un crecimiento descontrolado y sin una adecuada planificación, por lo que el empleo de equipos de aire acondicionado (AC) se ha incrementado, principalmente en el Norte de la República. Estos equipos de ventilación tienen diferentes efectos negativos como el uso de energía eléctrica excesiva que llega a afectar principalmente a comunidades desfavorecidas con bajo poder adquisitivo, desde el punto de vista económico, el uso de estos aparatos para acondicionamiento de espacios interiores para proveer confort, resulta en un impacto en su ya desgastada economía, que sí, momentáneamente pueden lograr un confort en el espacio de manera artificial, sin embargo no existe armonía entre el ambiente edificado y el medio natural, siendo este siempre un problema de discomfort que representa un derroche de dinero innecesario para el usuario para corregir estos problemas de diseño; entre otros efectos negativos se encuentran las enfermedades respiratorias y la contaminación al ambiente, producto de la generación y consumo energético derivado de la operación de sistemas de climatización artificial como lo es mediante el uso de aparatos de aire acondicionado, ventiladores etc. Se plantea la propuesta de un sistema pasivo a través de ductos enterrados que aprovecha la energía almacenada en el subsuelo para la estabilización de la temperatura del aire, tanto para invierno como para verano, creando un intercambio térmico que permite inyectar, ya sea, aire caliente o frío al interior de los espacios para que estos sean confortables sin la necesidad de equipos costosos, consumo de energía por operación o mantenimiento, reduciendo además las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Este sistema pasivo de enfriamiento puede proveer de las condiciones de confort que demanda un espacio, tomando en cuenta características climáticas particulares de cada región.

El documento se conforma de cinco apartados. **En el primero capítulo, se muestra el planteamiento del problema**, destacando brevemente las características climáticas de la ciudad de Ensenada y los principales problemas de falta de confort, así como la repercusión que de esto deriva; en los objetivos se plantea la implementación de sistemas pasivos que den solución a los problemas de confort y empleo de climatización artificial; se plantea una hipótesis sobre lo que se esperó; así como la metodología experimental para desarrollar el proyecto.

El segundo capítulo de antecedentes, se hace un breve recorrido para sentar aspectos básicos respecto a que es el confort, la relación que guarda con el clima y los factores fisiológicos humanos que intervienen en su percepción, así como algunos modelos de confort térmico. En este mismo apartado se abordan los principales mecanismos de transferencia de calor: radiación convección y conducción, así como los sistemas pasivos de enfriamiento asociados a estos principios físicos.

El tercer capítulo se muestra el **diseño de la investigación**, se comienza a explorar los elementos que intervienen en un sistema pasivo de enfriamiento por conducción, averiguando sobre los principales tipos de tierra (edafología) presentes en la ciudad de Ensenada, su composición, así como de los principales parámetros climáticos que definen el ambiente.

En el cuarto capítulo, sobre el **procedimiento experimental**, se presentan algunos breves detalles sobre cómo se montó el arreglo experimental, así como el equipo de mediciones utilizado (datalogger), sondas, estación meteorológica, etc.), el proceso de planeación, construcción y montaje del sistema de ductos enterrados y los puntos de medición que se colocaron.

En el quinto capítulo se muestran **los resultados obtenidos de la prueba experimental con el sistema pasivo**, tanto de las lecturas obtenidas en un periodo representativo cálido, como de un periodo representativo frío; para de esa forma medir el desempeño que tienen los ductos enterrados para estabilizar el aire ambiente en condiciones extremas de temperatura.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Problemática

En la ciudad de Ensenada el mes con mayor temperatura durante el año es el mes de agosto que llega a una máxima de 27 °C, una mínima de 18°C , por el contrario, nos encontramos con el mes más frío durante el año que sería diciembre que cuenta con una máxima de 20.2°C, una mínima de 7.5°C, Teniendo estos datos se puede hacer evidente que las temperaturas en la ciudad pueden llegar a tener una diferencia considerable entre la máxima y la mínima sin embargo estos datos en promedio llegan a estar dentro de temperaturas confortables y no muy alta oscilación (SMN, S.F).

Problemática por falta de confort ocasionada por la demanda de consumo de energía

Esta investigación centra su interés en el consumo energético del sector residencial, comercial y público, según SENER (2017) que resulta en el 17.6% de consumo energético total por sector, el cual dentro del mismo se integran, la electricidad con 34.6%, gas licuado 32.9%, leña 26.5%, gas seco 5.2% y solar con el 1.1%.

Estos porcentajes arrojan una problemática grande la cual vivimos actualmente , vemos que nos hemos hecho dependientes del uso de las energías no renovables, ya que usamos cada vez mas de manera cotidiana el uso de sistemas de Aire acondicionado, o aparatos los cuales no nos proveen de confort necesario en el espacio, estos ocasionan un gran aumento de diferentes situaciones que podríamos evitar con un diseño pasivo que contemple las condiciones ambientales presentes en el lugar; así como también de la contaminación resultante del uso de aparatos climatización artificial, tomando en cuenta que también se les atribuye la causa de enfermedad respiratorias y otros padecimientos por el uso de estos aparatos entre otras problemáticas; cuando por el contrario podríamos contar con un sistema de enfriamiento pasivo, natural y funcional así como de bajo costo el cual daría solución incluso la eficiente energética por operación de estos espacios.

1.2 Objetivos

1.2.1 General

Evaluar y caracterizar un sistema pasivo de enfriamiento por conducción, aprovechando el potencial térmico del suelo para almacenar energía, logrando estabilizar la temperatura del aire

tanto en condiciones de altas, como de bajas temperaturas, de tal manera que se obtenga confort y ahorro de energía para el clima templado de Ensenada.

1.2.2 Específicos

- Identificar los periodos térmicos presentes en Ensenada a partir del análisis de la temperatura ambiente, diferenciando claramente cuando se presentan bajas y altas temperaturas respectivamente. Otro parámetro importante es el viento, donde se priorizará identificar la dirección dominante. Todo esto, en un año típico.
- Diseñar un sistema de enfriamiento pasivo por conducción del tipo indirecto a partir de las condiciones climáticas locales presentes en un sitio definido y la influencia del contexto inmediato dentro de la Ciudad de Ensenada.
- Construir un sistema de enfriamiento pasivo por conducción del tipo indirecto y realizar el arreglo experimental que permita colocar equipo de monitoreo atendiendo normatividad estandarizada aplicable a la materia.
- Evaluar el desempeño térmico del sistema pasivo en periodo cálido y periodo gélido para la estabilización del aire en la ciudad de Ensenada.

1.3 Hipótesis

1.3.1 General

Tomando en cuenta los principales parámetros climáticos en la Ciudad de Ensenada que nos permita estimar los límites de confort locales, así como los requerimientos de calentamiento y enfriamiento que se esperan al interior de los espacios, se utilizara un sistema de enfriamiento conductivo que proveerá de manera pasiva la climatización necesaria para que un espacio se encuentre en condiciones óptimas de habitabilidad. El sistema será útil para calentar y para enfriar según los requerimientos de confort. Este aire, por el fenómeno conductivo en el que la temperatura regular del subsuelo realiza un intercambio térmico con el aire dentro del ducto, estabiliza la temperatura del volumen de aire e ingresa al interior en condiciones más cercanas a confort como ideal por alcanzar.

1.3.2 Específicos

- Estabilizar la temperatura del aire con el fin de lograr un confort térmico para la futura climatización de espacios a través de estrategias pasivas
- Aprovechar la energía almacenada en el subsuelo con el fin de calentar o enfriar el aire del ambiente y demostrar el potencial térmico de la tierra con uso de energía limpia
- Ofrecer un sistema pasivo de enfriamiento de fácil acceso que pueda contribuir a una disminución en el consumo de energía, logrando además reducir el impacto económico por pago de energía eléctrica en sectores desfavorecidos.

1.4 Metodología

El procedimiento metodológico consiste en enunciar de manera secuencial todas las etapas que conformarán el desarrollo del proyecto de investigación, así como las actividades que derivarán de cada una de éstas, con fin de visualizar la metodología que permitirá lograr los objetivos de esta investigación. Por lo anteriormente mencionado, a continuación, se describe la secuencia del procedimiento específico metodológico de esta propuesta de investigación:

- I. Realizar un estudio que nos permita conocer los diferentes tipos de suelo presentes en la Ciudad de Ensenada, así como su composición.
- II. Identificar y describir los elementos que integran los diferentes tipos de suelo, así como el porcentaje presente de cada uno de ellos para definir el posible potencial térmico y almacenaje energético de estos.
- III. Selección de un lugar adecuado para el estudio, considerando que éste presente una exposición prolongada a la radiación solar, sin posibles obstrucciones.
- IV. Análisis de los principales parámetros climáticos (temperatura, precipitación, etc.) y definición de los periodos tanto de altas, como de bajas temperaturas en un año típico.
- V. Análisis de afectaciones por sombra de viento, tanto del contexto natural como construido (árboles, construcciones, bardas, etc.), entre otros, asegurando que el sitio cuente con condiciones óptimas de circulación de aire.
- VI. Revisión de literatura referente al cálculo empleado para el diseño y caracterización de un sistema pasivo de enfriamiento por conducción para la concepción de un modelo de

- VII. lazo abierto con dimensiones óptimas para un desempeño eficiente para lograr la estabilización de la temperatura del aire en la Ciudad de Ensenada.
- VIII. Construcción de un sistema pasivo de enfriamiento por conducción de tipo indirecto en el sitio seleccionado por el análisis mencionado en los puntos anteriores, tomando en cuenta sus componentes básicos (ductos de pvc, extractor de aire, equipos de mediciones y pantalla de Stevenson para resguardo de los mismos), así como las herramientas necesarias para su elaboración.
- IX. Con base en el análisis climático realizado, se definirán las fechas críticas de bajo calentamiento y sobrecalentamiento. En primera instancia, se procede a monitorear el sistema pasivo durante un periodo representativo cálido donde predominen las altas temperaturas, donde se mida su desempeño para estabilizar aire caliente, logrando el enfriamiento de este.
- X. Por último, se realizará el monitoreo del sistema pasivo en un periodo representativo gélido, donde se mida su desempeño para estabilizar aire frío, logrando en esta ocasión el calentamiento de este.
- XI. Realizar el procesamiento y organización de los valores resultantes, obtenidos en el monitoreo del sistema pasivo, tanto para la estabilización de aire cálido, como de aire frío, respectivamente.
- XII. Análisis simplificado de un modelo matemático de cálculo para la elaboración de propuestas de diseño para un sistema de enfriamiento por conducción de tipo indirecto para distintas condiciones de temperatura ambiente.

1.5 Referentes geográficos

Ensenada B.C se encuentra ubicada a $31^{\circ} 52'$ de latitud norte y a $116^{\circ} 37'$ de longitud oeste, la ciudad se localiza aprox. a 110 km (75 millas) de la frontera México-Estados Unidos, frente al océano Pacífico y fue fundada por Juan Rodríguez Cabrillo (**Figura 1**).



Figura 1: Ubicación de Ensenada B.C

Fuente: Google maps

Posee un clima mediterráneo seco, las precipitaciones son escasas y se concentran en los meses más fríos, de noviembre a febrero, en los cuales la temperatura promedio es de 13°C y en inviernos puede llegar a helar. Por otra parte, los meses más cálidos, de junio a septiembre, son también los más secos, y presentan una temperatura media de 22°C (Wikipedia, s.f.).

Ensenada solo cuenta con dos cuerpos de agua dulce: la presa Emilio López Zamora, alimentada por el arroyo de Valle Verde, y La Lagunita, ubicada al norte de la base aérea militar del Ciprés cuya importancia es de carácter ecológico (Wikipedia, s.f.).

1.6 Conclusión

Derivado del análisis realizado en la investigación se puede notar la viabilidad de la aplicabilidad favorable de un sistema pasivo de enfriamiento en la Ciudad de Ensenada por presentar un periodo de altas temperaturas corto, en el cual la temperatura del aire no es elevada y fácilmente se puede estabilizar para obtener confort al interior de un espacio reduciendo el consumo de energía presente en el Norte del país por el uso de aparatos eléctricos para la climatización y acondicionamiento artificial de edificios para alcanzar dicho confort, sin embargo el uso de estos aparatos ocasionan una contaminación al ambiente producto de la producción energética, sin dejar de lado el impacto económico del usuario; por otro lado está el optimizar los recursos disponibles y energías renovables presentes en el ambiente y que pueden ser utilizados en beneficio, como lo es la radiación solar abundante en la región que bien puede ser aprovechada en el almacenamiento de energía en el subsuelo a través de un sistema pasivo de enfriamiento por conducción.

2. CAPÍTULO II. ANTECEDENTES

2.1 Marco teórico

Confort Climático

Desde la antigüedad el ser humano ha tenido que adaptarse a distintos lugares y entornos climáticos para sobrevivencia propia, el cual mediante a las circunstancias en las que se encontraba iba descubriendo distintas formas de poder estar en un lugar en confort, ya sea por materiales con los que se construía, distintas orientaciones las cuales podrían ser favorables durante cierto tiempo del día, entre otros métodos.

Al paso de los años el desarrollo de la tecnología ha revolucionado cada vez más, facilitando, entorpeciendo u olvidando distintos métodos que son de importancia para lograr un confort climático no solo en los hogares si no en todos los lugares construidos, además también dejando la naturaleza.

Uno de los objetivos principales actualmente de la arquitectura moderna es la adecuación de la construcción al entorno en el cual, la gran variedad y posibilidades de crear algo alrededor de la propia naturaleza no quitándola ni dañándola si no aprovechándola para embellecer más la construcción da un beneficio no solo para el usuario en cuanto a confort sino también para el planeta.

El cuerpo humano tiene una temperatura interna que varía entre los 36 °C y 37 °C, el equilibrio térmico del cuerpo debe mantenerse dentro de ese rango debido a que si este aumenta o disminuye puede provocar distintos daños. El cual para poder mantener un equilibrio en la temperatura de la persona se debe realizar una serie de procesos en los cuales se gana o pierde calor, según se muestra en la (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

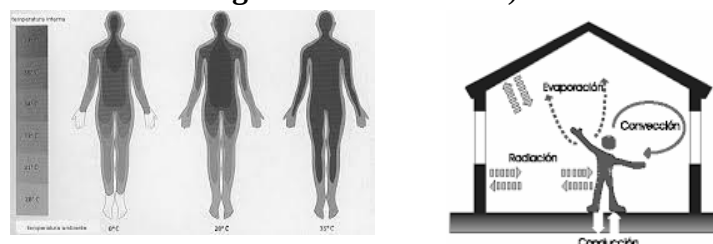


Figura 2: Proceso metabólico

Fuente: Seminario de diseño y sustentabilidad

Producción de calor y mecanismos de autorregulación

El ser humano necesita estar en un equilibrio metabólico para el cual consiste en tres factores con el exterior.

1. El metabolismo que es por la ingestión de alimentos y su combustión
2. El intercambio térmico entre el cuerpo y el ambiente que lo rodea por conducción, convección y radiación
3. Pérdida de evaporización de agua por los pulmones o de la piel

La energía producida por el metabolismo está relacionada con la actividad que el ser humano produce, y esto debido a que el proceso metabólico produce un exceso de energía al realizar una actividad. Este metabolismo en exceso se transforma en calor denominado “calor metabólico”, pero incluso en reposo absoluto el gasto de energía es el mínimo requerido.

Pero incluso en esta situación el calor generado es del orden de 70 w/h (**Tabla 1**).

El Intercambio térmico entre el cuerpo y el ambiente se produce por las diferencias de calor con el entorno, aunque la ropa es un factor de modificación en la temperatura importante, existen tres procesos de intercambio que actúan de manera simultánea

1. Entre la ropa y el exterior.
2. Entre el cuerpo y la ropa y entre
3. Las partes descubiertas y el exterior; por ello, para un hombre desnudo la estimación del balance es más simple, ya que solo intervienen la temperatura de la superficie del cuerpo

Experimentalmente se ha establecido la equivalencia entre diferentes tipos de vestimenta y esta unidad de aislamiento, tal y como aparecen en la (*Tabla 2*).

Tabla 1: Intercambio térmico:

Relación entre las diferentes actividades y sus niveles metabólicos según Belding y Hatch	
Actividad	Energía (w)
Durmiendo	75
Sentado tranquilamente	120
Trabajo ligero	
Oficina	130-160
Conduciendo	160-190
De pie trabajo ligero	160-190
Trabajo moderado sentado, movimiento intenso manos	
Tronco y piernas	190-230
De pie con algún desplazamiento	230-290
Levantamiento y transporte	
Moderado de pesos	290-400
Trabajo intenso	430-600

Fuente: Elaboración propia con base en Belding y Hatch ,1994

Tabla 2: Equivalencia térmica

Equivalencia entre el vestido y clo.	
Vestimenta	Clo.
Desnudo	0.0
Pantalón corto	0.1
Traje veraniego	0.5
Traje masculino de calle	1.0
Conjunto femenino de invierno	0.7-0.9
Traje masculino de invierno	2 -2.5

Fuente: Elaboración propia con base en Belding y Hatch ,1994

Principales variables climáticas que influyen sobre el confort

La temperatura del aire es el factor que influye sobre el bienestar humano e intervienen factores (*Figura 3*).

1. La humedad regula la evaporación, por lo que desempeña un importante papel en las altas temperaturas, en las que la sudoración es uno de los mecanismos más importantes de enfriamiento.
2. El movimiento del aire aumenta la disipación de energía por evaporación o convección, siempre que la temperatura de la piel sea inferior a la del aire. Sin embargo, cuando las temperaturas son mayores a 40°C, el viento aumenta la sensación de calor
3. La radiación: algunos estudios sugieren que es más significativa la temperatura radiante del entorno que la del aire.



Figura 3: Factores que intervienen en el ser humano

Fuente: Seminario de diseño y sustentabilidad

Índices y análisis Bioclimáticos

Los primeros estudios que se relacionan con el bienestar climático se iniciaron a finales del siglo XIX con el fin de establecer unos criterios adecuados para el trabajo en las industrias mineras y textiles, en las que se producían frecuentes accidentes y enfermedades a consecuencia del calor y la humedad.

En 1890, Vincent publicó una sencilla fórmula en la que hacía intervenir la temperatura de la piel y la velocidad del viento. A comienzos de nuestro siglo surgen una serie de instrumentos dirigidos a medir "el poder refrigerante del aire" como el Kattatermómetro de Hill (1923), y el frigorífico de Pfeleiderer y Buetmer's (1935).

El confort climático o sensación térmica es un proceso subjetivo en el que intervienen aspectos fisiológicos y psicológicos.

El objetivo final de las investigaciones bioclimatológico, es el cuantificar las sensaciones térmicas y establecer escalas, que permitan determinar las respuestas de la persona ante unas condiciones climáticas específicas.

Los índices de confort son numerosos, pero los tres de uso más común son: Temperatura efectiva, de Siple y Passel y el de Hill.

1.- **La temperatura efectiva** se define como la temperatura del termómetro seco que para una humedad del 50% haría sudar a una persona con la misma intensidad que en las condiciones ambientales dadas (González, 1986).

2.- **El índice de enfriamiento eólico (wind chill)** de Siple y Passel en 1945 ambos autores determinaron experimentalmente el enfriamiento que se producía en un cilindro de plástico lleno de agua, a diferentes velocidades del viento y bajo distintas temperaturas. La (Ecuación 1)

$$\text{Ecuación 1: } W = (\sqrt{100v} + 10.45 - v) * (33 - t)$$

w, representa el poder refrigerante del aire expresado en kcal.m.2.h:

V, es la velocidad del viento en m/s

t, es la temperatura del aire en °C.

En 1948, Court modificó la versión original es (Ecuación 2)

$$\text{Ecuación 2: } W = (10.9\sqrt{v} + 9 - v)(33 - t)$$

3.- El índice de Hill. A partir de las observaciones realizadas con el katatermómetro, Hill propuso un índice en el que el medía la intensidad o poder de enfriamiento del aire expresado como la velocidad de pérdida de calor por unidad de superficie del cuerpo.

De acuerdo con lo anterior, el procedimiento de cálculo contempla tres fases:

- a.- Obtención de la temperatura aerodinámica (**ta**), independiente de la humedad.
- b.- El cálculo de la temperatura efectiva (**tb**) o índice de bienestar, en la que se incluyendo en efecto de la humedad. Para ello utiliza la temperatura aerodinámica y la temperatura del termómetro húmedo (**tw**).
- c - Creación de una escala de sensaciones de bienestar, tomando temperatura de referencia la del cuerpo (36.5°C) (**Tabla 3**).

Tabla 3:Escala de sensaciones

Escala de sensaciones térmica, según los valores de H, modificado por Mateos Cañizal y Rodríguez Puebla (1985)		
Sensación	Abreviatura	H(Hw.m2)
Muy frio	Mf	$H > (Hw.m2)$
Frio	F	$24.5 < H < 27.2$
Fresco	F	$20.00 < H < 24.5$
Suave	S	$16.00 < H < 20.00$
Caliente	C	$12.30 < H < 16.00$
Muy caliente	Mc	$8.8 < H < 12.30$
Bochorno	B	$H < 8.8$

Fuente: Elaboración propia con base en Cañizal y Rodríguez, 1985

Modelos existentes de confort térmico

Modelos teóricos

1. PMV/-PPD

El PMV representa la sensación térmica de un grupo de personas expuestas a cierto ambiente. Este método resulta de la física de transferencia de calor combinada con una adaptación empírica para la sensación, además establece una tensión térmica basada en la transferencia de calor en un estado estacionario entre el cuerpo y el ambiente y asigna un voto de confort (*Tabla 4*).

La ecuación de este modelo solo se aplica a humanos expuestos a un largo periodo de condiciones y con una tasa metabólica constante. La fórmula es (*Ecuación 3*).

Ecuación 3: $H - E_d - E_{sw} - E_{re} - L = R + C$.

Tabla 4:Modelo PMV

H	Producción interna de calor
Ed	Pérdidas de calor por la difusión de vapor de agua por la piel
Esw	perdidas de calor debidas a la sudoración
Ere	Perdidas de calor latente debidas a la respiración
L	Perdidas de calor por la respiración seca
R	Perdidas de calor por radiación de la superficie del cuerpo vestido
C	Perdidas de calor por convección de la superficie del cuerpo vestido

Fuente: Elaboración propia con base en Cañizal y Rodríguez, 1985

2. ET-DISC

Este modelo también usa un balance térmico, pero a comparación del modelo PMV, el modelo evoluciona con el tiempo en lugar de ser en un estado estacionario. Este modelo considera la nueva temperatura, que resulta como el índice de temperatura que toma en cuenta la transferencia radiante y latente de calor. El “ET” puede ser calculado usando el modelo “2-NODE”, el cual determina el flujo de calor, entre el ambiente, las áreas de la piel y el núcleo del cuerpo desde el comienzo minuto a minuto.

Comenzando con una condición inicial de tiempo=0, el modelo interactúa hasta que el equilibrio ha sido alcanzado (60 minutos es un tiempo común).

3. SET

Este modelo tiene la ventaja de permitir comparaciones térmicas entre ambientes con cualquier combinación de las variables físicas introducidas, pero con desventaja de requerir personas “estándar”.

Modelos empíricos

1. PD

Este modelo es un ajuste a los datos de personas que sienten discomfort térmico debido a las corrientes de aire, los datos que se toman en cuenta en el PD son: temperatura de aire, velocidad de aire e intensidad de la turbulencia.

2. PS

La ecuación PS predice la velocidad del aire que puede ser elegida por la persona tiene control de la fuente de velocidad del aire, la ecuación es (*Ecuación 4*)

Ecuación 4: $PS = 1.13 (TOP)^2 - 0.24 \times TOP + 2.7 \times (V)^2 - 0.99 \times V \cdot TOP$, es: la temperatura operativa en grados Celsius y V es la velocidad del aire en metros por segundo.

3. TS

Ecuación que predice el voto de sensación térmica usando una función lineal de la temperatura del aire y la presión parcial de vapor. La fórmula utilizada es: $TS = 0,245 \times Ta + 0,248 \times p - 6,475$, donde Ta es la temperatura del aire en Celsius, p es la presión parcial de vapor.

Modelos adaptativos

1. Humphreys

Esta ecuación es una adaptación de basada en amplias bases de datos de edificios con clima controlado y no controlado (*Ecuación 5*).

$$\text{Ecuación 5: } T_n = 23.9 + \frac{0,295(T_{mno}-22)}{\exp\left[-\frac{T_{mno}-22}{24\sqrt{2}}\right]}$$

2. Auliciems

Usando una extensa base de datos incluyendo tipos de edificios con sistemas mecánicos de acondicionamiento de aire y sin él, se encontró la expresión donde T_n es válida entre 18 y 28°C

$$T_n = 17.6 + 0.31 \times T_m$$

Ecuación de Griffiths es (*Ecuación 6*)

$$\text{Ecuación 6: } T_n = 12.1 + 0,534 \times T_m$$

Ecuación Nicol es (*Ecuación 7*).

$$\text{Ecuación 7: } T_n = 23,9 + 0,295(T_m - 22) \cdot \exp\left[-\left(\frac{T_m - 22}{24\sqrt{2}}\right)^2\right]$$

ITS:

Este modelo está basado en la asunción en el rango de condiciones en la cual hay un equilibrio térmico este describe el intercambio de calor entre el cuerpo y el ambiente de lo que se puede calcular el estrés total del cuerpo. La fórmula es (*Ecuación 8*).

$$\text{Ecuación 8: } S = [(M-W) + C + R] \times (I/F)$$

En donde:

S= tasa de sudoración requerida en Kcal/h

M= tasa de metabolismo, en Kcal/h

W= Trabajo mecánico por unidad de tiempo

C= intercambio de calor por convección, Kcal/h

R= Intercambio de calor por radiación, Kcal/h

F= eficiencia de enfriamiento por sudoración, adimensional

Estimación de confort a partir de modelos de confort

Tomando como referente los estudios en confort de uno de los investigadores mas destacados en el area, se calculó la Temperatura Neutra (Tn) con la ecuación del modelo adaptativo propuesta por Auliciems (1981) y el rango de confort recomendado por Szokolay de +/- 2°C para estimar la percepción de satisfacción con la temperatura del aire ambiente para las características de Temperatura de Bulbo Seco (Tbs) de la Ciudad de Ensenada.

A continuación se muestran los parametros de confort obtenidos por el modelo adaptativo desarrollado por Auliciems, así como el calculo Tn. Es de destacar los meses con mayor diferencia de temperaturas como agosto con un cálculo de Tn= 24.3°C y un Limite Inferior de Confort (LIDC) de 22.3°C donde por debajo de dicha temperatura, las personas comenzarian a percibir un ambiente fresco y el Limite Superior de Confort (LSDC) de 26.3°C donde las personas acostumbradas a las características del ambiente térmico en Ensenada, comenzarían a percibir calor. Por otro lado tenemos el cálculo de Tn en condiciones de bajas temperaturas como el mes de diciembre, con una Tn= 21.9°C y unLIDC de 19.9°C donde la persona presenta una adaptabilidad teniendo mayor tolerancia a una temperatura menor, mientras que el LSDC se estimó en 23.9°C.

Es de resaltar que la temperatura de cada mes varia según los parametro de la Tbs a lo largo del año y también es notable en los meses donde se desarrollaron las pruebas en esta investigación, siendo el mes de Enero con una Tn= 22°C y el mes de Septiembre con 24.1°C siendo uno de los mes con temperaturas más elevadas del año (*Figura 4*).

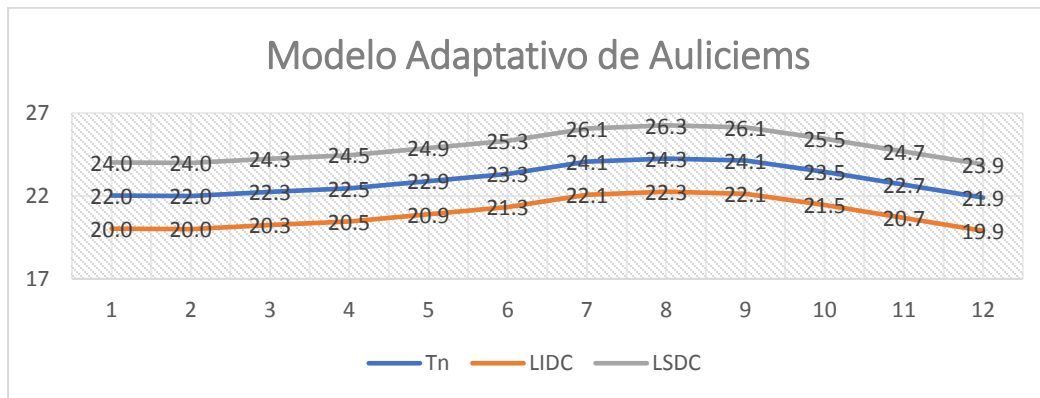


Figura 4:Modelo Auliciems

Fuente: Elaboración propia

Mecanismos de transferencia de calor

La transferencia de calor, es el modo microscópico de trabajo, donde la energía es transferida a través de la frontera de un sistema debida a una diferencia de temperatura; siendo la temperatura una propiedad macroscópica, que nos permite relacionar la transferencia de energía a nivel molecular (Corace, 2009).

Radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. La transferencia por radiación no necesita de un medio que intervenga para poder ser producida ya que esta existe en todos los objetos que tengan temperatura arriba de 0 grados por lo que se convierte en una de las transferencias más rápidas y existentes en los objetos a nuestro alrededor. Es un fenómeno volumétrico y todos los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben o transmiten radiación en diversos grados. Sin embargo, la radiación suele considerarse como un fenómeno superficial para los sólidos que son opacos a la radiación térmica, como los metales, la madera y las rocas, ya que las radiaciones emitidas por las regiones interiores de un material de ese tipo nunca pueden llegar a la superficie, y la radiación incidente sobre esos cuerpos suele absorberse en unas cuantas micras hacia adentro de dichos sólidos (Cheong, et al., 2007).

La evaporación es el resultado del proceso físico por el cual el agua cambia de estado físico, del líquido al gaseoso, retornando, directamente a la atmósfera en forma de vapor. También lo hace del estado sólido (nieve, hielo, etc.) directamente a la atmósfera mediante el fenómeno de “sublimación”, además es un cambio de estado y precisa de una fuente de energía que proporcione a las moléculas de agua la energía suficiente para efectuarlo. De forma directa o indirecta, esta energía procede de las radiaciones solares (Duarte y Díaz. 2003).

La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacentes que están en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. Esto sucede primeramente cuando se transfiere la energía al aire adyacente a un bloque por conducción, después esta energía es alejada o separada de la superficie por la misma convección y esto pasa por los efectos de conducción en el aire (Cheong, et al., 2007).

Existen dos tipos de convección una de ellas es la forzada la cual es mediante un flujo de aire artificial mediante ventiladores, aire acondicionado, por el contrario de la natural que esta como lo dice el nombre es un flujo de aire por corriente.

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas, puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. En cuanto a gases y líquidos esto se lleva a cabo gracias a las colisiones y a la difusión de moléculas durante su movimiento constante, por otro lado, con los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una retícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres (Cheong, et al., 2007).

Un ejemplo de conducción que podemos encontrar en una actividad cotidiana es cuando te encuentras en un lugar a temperatura ambiente y alguien llega con una soda helada, puedes darte cuenta que después de un tiempo esta soda pierde esa temperatura helada hasta llegar a la temperatura ambiente del lugar donde te encuentras, la razón de la rapidez con la que se puede conducir la transferencia de calor tiene que ver con la composición geométrica, su espesor ,el material del que se compone así como la diferencia de calor a través de él (Cheong et al., 2007).

Es importante resaltar que las razones que se toman en cuenta según Cheong, et al., (2007), en la transferencia de calor ya que son factores los cuales determinaran si un elemento u objeto recibirá

esta transferencia en un determinado tiempo, tiene mucho que ver si el objeto es de vidrio, de aluminio si tiene diferentes grosores o es el mismo, si el material del objeto es un aislante como lo es la fibra de vidrio.

2.1.1 Sistemas pasivos de enfriamiento

Los sistemas pasivos de enfriamiento son métodos con los cuales se implementan diferentes estrategias pasivas las cuales nos proveen los recursos naturales, estas pueden ser de tres maneras (aire/agua, aire/aire y aire/ suelo) estos métodos intercambian su energía mediante distintos mecanismos como: conducción, convección, radiación y evaporación.

2.1.2 Sistema pasivo de enfriamiento por radiación

Es una transferencia que no necesita de un medio que intervenga para poder ser producida ya que esta existe en todos los objetos que tengan temperatura arriba de 0 grados por lo que se convierte en una de las transferencias más rápidas y existentes en los objetos a nuestro alrededor. Es un fenómeno volumétrico y todos los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben o transmiten radiación en diversos grados (Cheong, et al., 2007).

En cuanto a lo anteriormente mencionado es el sistema pasivo como la concepción general aterrizada a un edificio mediante su forma, orientación, dimensiones, etc., una posible clasificación de ello se basa en el tipo de captación esta puede ser directa o indirecta.

Un ejemplo en el cual el enfriamiento por radiación influye o funciona es en el uso de los “techos fríos”, el cual es una manera de reducir la temperatura al interior de los espacios, el funcionamiento de este se basa en pintar las cubiertas de algún edificio de color blanco principalmente ya que los colores claros reflejan esta radiación que incide en las cubiertas, sin embargo existen múltiples colores en los cuales las cubiertas pueden ser pintadas, pero estas varían acorde a la radiación que reflejan, por lo tanto varían en el cambio temperatura en el interior del espacio como se muestra en la (Figura 5).

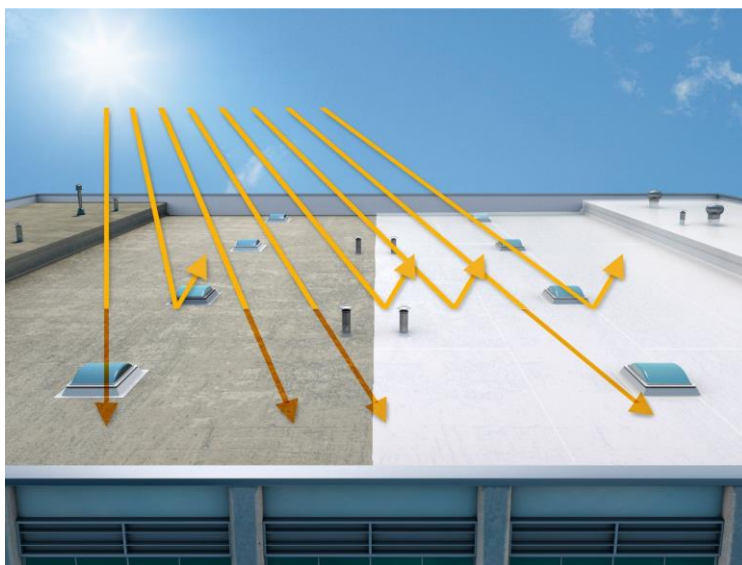


Figura 5: Techo frío

Fuente: Sika, Chile

2.1.3 Sistema pasivo de enfriamiento por evaporación

El enfriamiento evaporativo, como menciona Frejo (2012), es un principio de la física que consiste en la evaporación del contenido de agua de un determinado volumen de aire, basándose en la transferencia del calor del aire a tratar con el calor contenido en el volumen del agua de contacto.

Este funciona cuando corre de manera pasiva/ natural una corriente de aire en un espacio y en el transcurso de este se encuentra un cuerpo de agua, estos pueden ser, lagos, fuentes, etc., al pasar la corriente de aire sobre el cuerpo de agua este se evapora por la temperatura que proviene del aire causando de esta manera mediante la evaporación del agua una disminución de temperatura en ambos, logrando una temperatura estable o de confort en el ambiente. Este método puede ser utilizado de dos maneras: directa o indirecta (**Figura 6**).

De manera directa estas son técnicas basadas en este tipo de proceso forman parte de la arquitectura vernácula y patrimonial de la humanidad en gran parte de países con climas calientes y secos. Las fuentes de agua o estanques, combinadas con vegetación, las paredes y pisos evaporativos, los estanques y fuentes con aspersores, las torres de enfriamiento evaporativo y micronizadores, las cortinas de agua, etc., son muchos de los ejemplos en que podemos observar la puesta en práctica del enfriamiento evaporativo directo. Dado que su aplicación representa la

humidificación del aire, al mismo tiempo que la reducción de la temperatura del aire no se aconseja su uso en climas húmedos. Esta técnica se aconseja para ser aplicada en regiones áridas con disponibilidad de agua. Lugares con temperatura de bulbo húmedo (TBH) no mayores a 22°C - 24°C y cuando la temperatura de bulbo seco (TBS) no es mayor a 42°C – 44°C (Givoni, 1994) (

Figura 6).

Indirecta: técnicas basadas en este principio son utilizadas para enfriar algún componente de la edificación y este a su vez enfriar el espacio interior sin aumentar su contenido de humedad. A diferencia de un sistema de enfriamiento evaporativo directo, cuya principal desventaja es su incremento en la humedad del aire, un sistema evaporativo indirecto representa la posibilidad de reducir la temperatura del aire (enfriamiento sensible) respecto al exterior, pero sin aportar humedad al ambiente interno (González, 2010).

2.1.4 Sistema pasivo de enfriamiento por convección

El enfriamiento por convección como bien lo mencionan Cheong, et al., (2007), es el modo de transferencia de energía que se aplica a los fluidos principalmente o gases adyacentes que están en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos, este sistema funciona mediante una fuente de aire de manera natural.

Un ejemplo de ello es la chimenea solar la cual amplifica los fenómenos diferenciales de temperatura, densidad y presión, permitiendo que el flujo y la velocidad de la columna de aire se incrementen proporcionalmente al diferencial de gradientes. Para incrementar la temperatura del aire al interior de la chimenea se aplica el fenómeno del efecto invernadero, captar la máxima radiación solar posible a través de un acristalamiento en función de absorber esta energía en una superficie oscura y posteriormente transformarla en calor, este calor será transmitido al aire interior por efectos convectivos, al aumentar gradualmente su temperatura en el recorrido del tiro de la chimenea irá disminuyendo su densidad y progresivamente aumentando su desplazamiento a capas superiores (*Figura 7*).

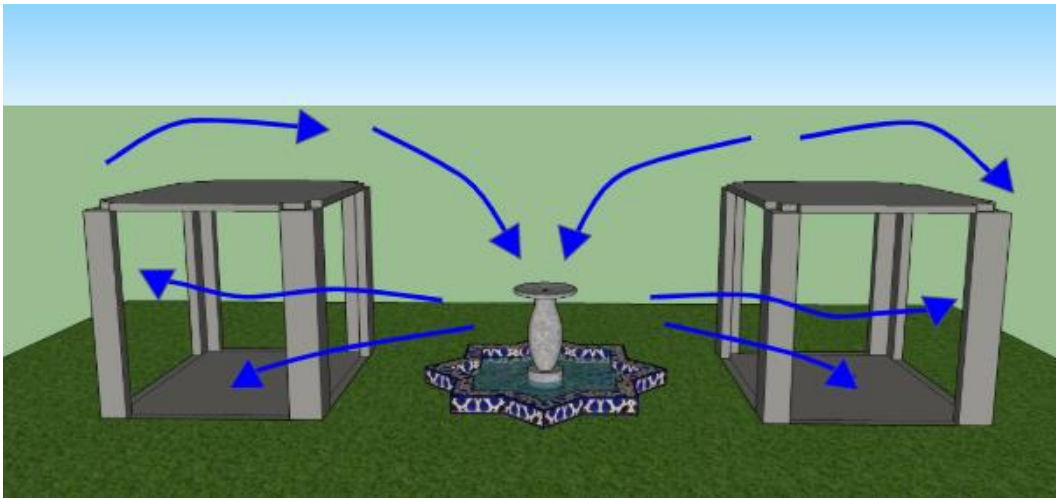


Figura 6: Sistema evaporativo en un patio

Fuente: Elaboración propia

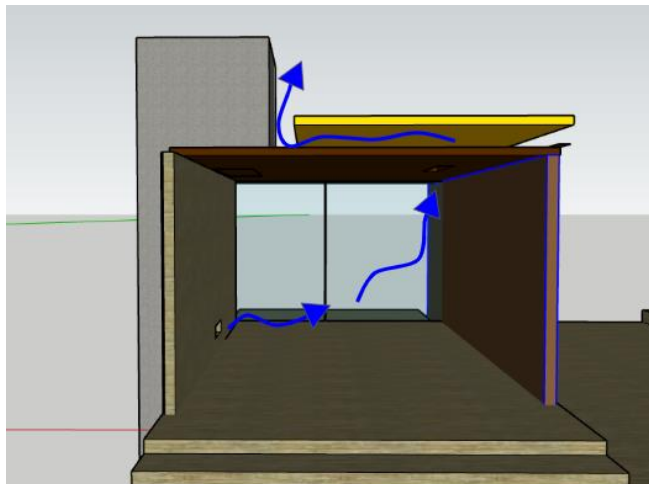


Figura 7: Funcionamiento de chimenea solar

Fuente: Elaboración propia

Otro ejemplo de convección es el muro trombe el cual es un muro de un espesor importante que se determina, y de un material de alta densidad, frecuentemente concreto. Sus dos funciones son la capacitación y la acumulación de la energía aportada por la radiación solar. Por otro lado, para que permita la distribución adecuada del aire que se ha calentado en su interior por efecto invernadero, lleva dos conjuntos de orificios, situados unos en la parte superior y otros en la parte inferior. Una vez caliente el aire, su menor densidad hace que se eleve acumulándose en la parte superior de la cámara. Si los orificios situados en esta parte del muro, se encuentran abiertos el aire pasará al local contiguo, esto a su vez crea un vacío en el interior de la cámara del muro, que servirá para succionar aire por el otro conjunto de orificios, este aire crea una circulación fría de la habitación al muro y una vez caliente, del muro a la habitación (Marban, s.f.) (Figura 8).

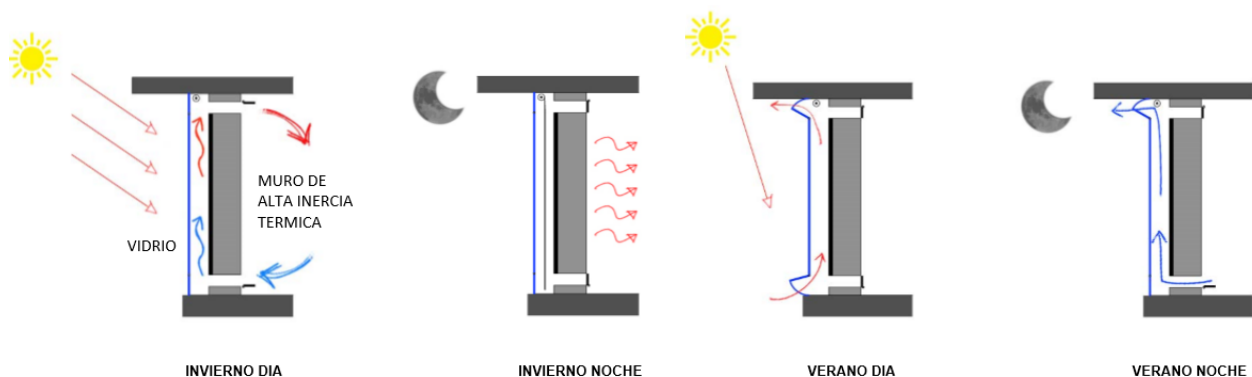


Figura 8: Función de muro trombe en invierno y verano

Fuente: (Marban, s.f)

2.1.5 Sistema pasivo de enfriamiento por conducción

Como bien menciona Cheong, et al., (2007) es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas, puede tener lugar en los sólidos.

Es un mecanismo de transferencia térmica entre el terreno y la edificación es decir el intercambio energético solido-solido. Y este se produce cuando los cuerpos pierden calor por conducción, es decir en el proceso de la conducción pudiese entrar por ejemplo aire caliente, pero en el proceso de conducción y gracias al calor de la tierra, ese mismo aire cambia su temperatura y pudiese entrar a la casa tanto aire frio como caliente, por ejemplo, en construcciones enterradas, o conductos enterrados, este sistema se divide en dos métodos, el directo e indirecto.

Una de las formas en las cuales la **conducción se lleva a cabo de manera directa** puede aplicarse en espacios arquitectónicos es mediante construcciones enterradas en el suelo, para ello esto funciona de manera en la cual se aprovechan las propiedades térmicas del suelo para poder generar un confort con el cobijo del suelo y muchas de las construcciones ya actualmente construidas se vieron en la necesidad de llevarlo a cabo ya que las circunstancias climáticas así lo requerían, además que es una de las maneras por las cuales se aprovecha los recursos que la naturaleza nos provee.

Un ejemplo de ellos es una casa que se encuentra en Triboli, Libia la cual esta construcción es una respuesta al clima desértico que se encuentra en la zona, es decir cálido y muy seco. Para ello en este caso es un lugar donde recogen la vida de los habitantes en patios interiores a los que se les puede sacar mucha ventaja, es decir no solo la construcción está rodeada de la madre tierra, sino que además cuentan con una zona libre y sombreada por la propia excavación que llega a crear un espacio acogedor y en confort (Durango, 2019) (*Figura 9*).



Figura 9: Triboli, Libia

Fuente: (Durango, 2019)

Enfocándonos en el **enfriamiento conductivo indirecto**, este funciona tomando la inercia de un terreno y la temperatura baja y estable que puede alcanzar a poca profundidad para efectos tanto de refrigeración como de calentamiento esta aprovecha la temperatura del suelo y mediante la utilización de ductos enterrados ingresa el aire a cierta temperatura ya sea fría o caliente, pasa por los ductos en el cual en su recorrido la temperatura del suelo ayuda ya sea a bajar o subir la temperatura a la cual ingresa a estos ductos, para de esta manera dirigirlos a un cierto espacio interior, lo que se convierte en un sistema pasivo de confort térmico sin la necesidad de algún aparato electrónico.

Es decir, se aprovecha la característica del suelo de mantener la temperatura interior frente a los cambios exteriores, por la cual se consigue una temperatura constante de 15° C en cualquier parte del mundo, de día o de noche, en invierno o en verano (Hollmuller & Lachal, 2005) (**Figura 10**)(

Figura 11).

Sin embargo, en este proceso de intercambio térmico dentro del sistema pasivo, la influencia de la condensación, evaporación y las diversas irregularidades, tanto del subsuelo como del ambiente son variables muy importantes para su funcionamiento; ya que, a relativa baja profundidad, la temperatura de la tierra se ve afectada directamente por dichas condiciones.

En general, las posibilidades de utilizar tubos enterrados dependen del tamaño y el tipo del terreno, que incidirá directamente en la facilidad de incorporar tubos a diferentes profundidades y con la extensión adecuada.

Las características de este sistema como su nombre lo indica, los tubos se colocan en forma de una rejilla y están unidos a dos cámaras de aire (ingreso y salida de aire). Las tuberías de ingreso de aire (superficiales) son de grandes diámetros, mientras que los tubos enterrados, por lo general a 3.0 m de profundidad, tienen un diámetro menor para lograr disminuir la velocidad de paso del fluido y maximizar el intercambio de energía. Se utiliza cuando el flujo de aire supera los 300 m³/h (Rehau, 2012).

Sistema constructivo: el material utilizado para los tubos verticales (ingreso y salida del aire) y los que conforman la rejilla varía dependiendo de los requerimientos del proyecto, pero por lo general pueden ser de PVC y/o de hormigón. Este tipo de sistemas son colocados en edificaciones de gran escala, así como casa habitación. El sistema de tubos enterrados debe trabajar en conjunto con una climatizadora y/o una unidad de tratamiento de aire; la cual permite regular el caudal y velocidad de aire necesario, y también ayuda a cubrir las demandas pico de la construcción que no pueden ser satisfechas solo con los tubos enterrados, (Rehau, 2012).

Las ventajas de la utilización de ductos enterrados son efectivamente varias sin embargo se mencionan algunas de ellas

- La inversión inicial es mucho menor que la de un sistema de climatización convencional, especialmente si el diseño de la estructura ya contempla dicha posibilidad. Por otra parte, los requerimientos energéticos son completamente marginales, implicando la utilización del sistema y el mantenimiento (Ruiz, 2009).
- Se destaca que el sistema es especialmente duradero, y completamente sostenible y ecológico (Ruiz, 2009).

Este sistema como ya bien se menciona se lleva a cabo de manera pasiva con ayuda de la radiación emitida del sol hacia el suelo, aprovechando estos recursos que la naturaleza nos provee se lleva a cabo una práctica en la cual se hace una prueba en un sitio determinado previamente que cuenta con las características adecuadas para poder llevarlo a cabo así como también se determina un

periodo de monitoreo durante el mes de Enero , siendo este mes uno de los más fríos así como también en septiembre siendo el mes más caliente en el año en la Ciudad de Ensenada B.C,para ello se espera poder obtener resultados los cuales nos arrojen una disminución de temperatura ingresada, así como también un enfriamiento del mismo para poder lograr una estabilidad térmica en un espacio con la finalidad de lograr un confort térmico estable.

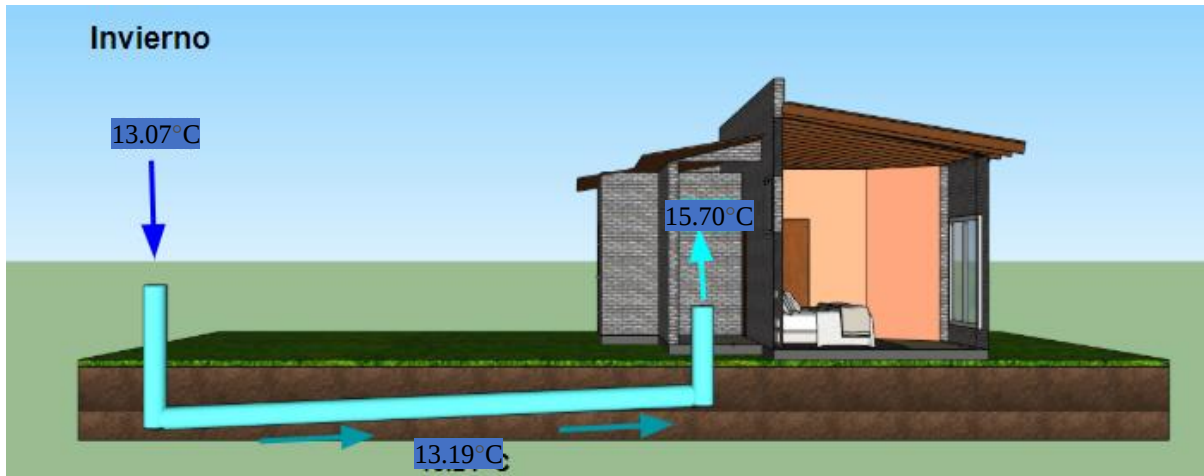


Figura 10: Funcionamiento de ductos enterrados en invierno, registró promedio de temperaturas

Fuente: Elaboración propia

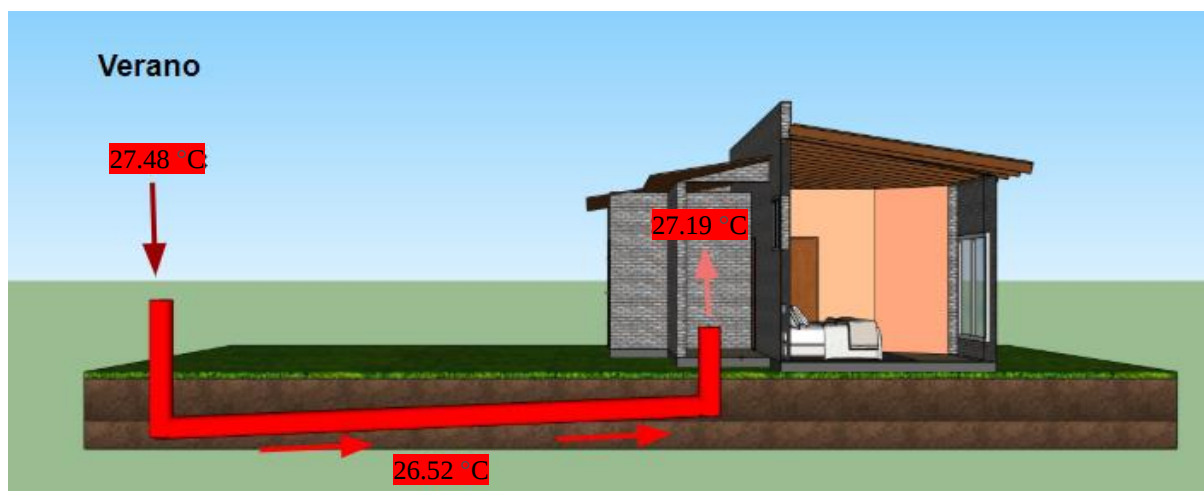


Figura 11: Funcionamiento de ductos enterrados en verano, registró máximo de temperaturas

Fuente: Elaboración propia

2.2 Estado del arte

El enfriamiento conductivo indirecto es un sistema el cual funciona mediante las cualidades de la tierra, la temperatura estable en la cual se puede encontrar, mejora y establece más que nada el confort interior de los espacios, este sistema se aplica mediante el entierro de ductos los cuales se dirigen a un espacio interior , y mediante ellos pasa el aire exterior y se conduce por los ductos hacia el interior del espacio, que gracias a las cualidades de la tierra esta enfría o caliente el aire que pasa por los ductos, logrando de esta manera un confort en el interior del espacio.

Un ejemplo aplicado en la arquitectura de un sistema pasivo indirecto por conducción es el proyecto de las casas Pomaret ubicadas en Barcelona, España, realizado por los Arquitectos Pich-Aguilera Architects, de 540m², realizado en el año 2012. Este proyecto se trata de un conjunto de viviendas pareadas ubicadas en el límite de la ciudad de Barcelona, lindando el espacio natural de Collserola, uno de los factores en el proyecto era la integración ya que se encontraba una vivienda existente en el lugar, el segundo factor era la integración con el espacio verde colindante y el tercer y último factor era la utilización de incorporar sistemas pasivos y activos que avancen en el compromiso de la edificación con la sostenibilidad medio ambiental (Archdaily,2006)(Figura 12)(Figura 13).

La edificación se organiza en tres plantas, una planta sótano de aparcamiento, instalaciones y almacén, una planta baja en donde se distribuye la zona de día y una planta alta de dormitorios y estudio; la adaptación progresiva a la topografía permite una estrecha relación de cada planta con el espacio exterior (Archdaily,2006) (Figura 14).

En el proyecto se priorizan las ventilaciones cruzadas naturales, los espacios interiores están proyectados para facilitar las ventilaciones cruzadas entre plantas, introduce un sistema activo de ventilación natural, a través de unos pozos canadienses enterrados en planta sótano por los que circula el aire y permite un intercambio de calor entre el aire que circula y la tierra que lo rodea, este aire, más fresco en verano que el aire exterior y más caliente en invierno, es impulsado hacia el interior de la vivienda, aportando un confort y reduciendo el consumo de energía convencional (Figura 15).



Figura 12: Casa Pomaret

Fuente: Archdaily, 2006



Figura 13: Casa Pomaret perspectiva

Fuente: Archdaily, 2006

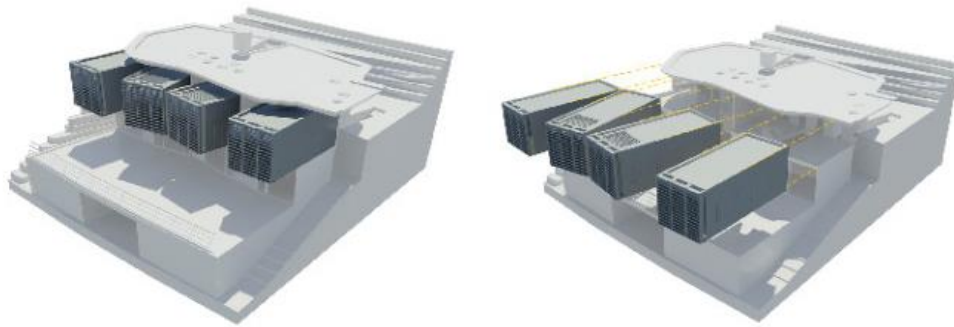


Figura 14: Volumetría Casa Pomaret

Fuente: Archdaily, 2006

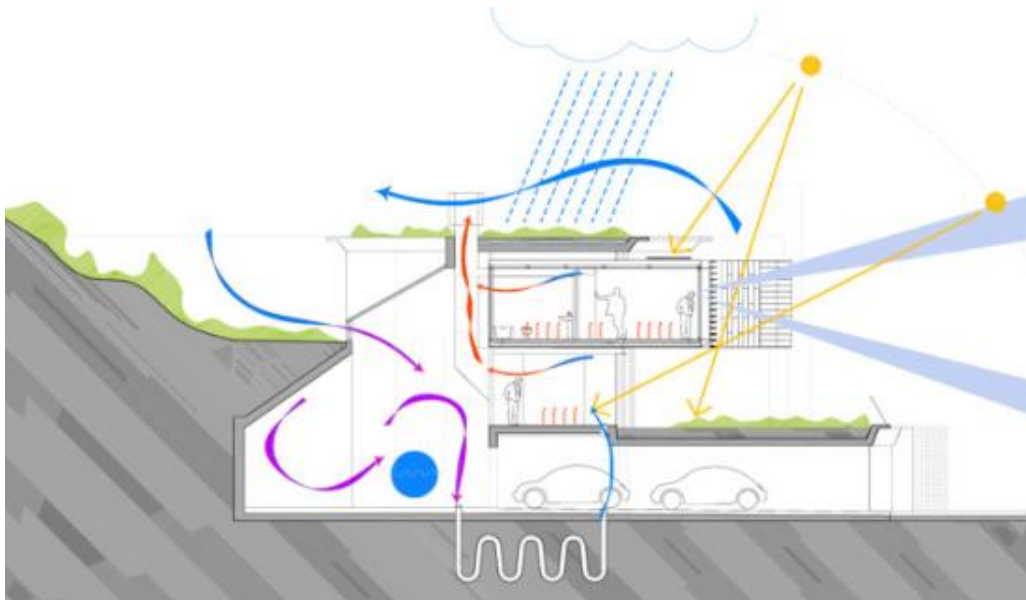


Figura 15: Criterios medio ambientales

Fuente: Archdaily, 2006

2.3 Conclusión

De acuerdo al funcionamiento de los sistemas pasivos de enfriamiento y específicamente el que trabaja a través del mecanismo de la conducción y su aplicación en algunos proyectos ya contruidos, nos ayudan a comprender que se puede aplicar en la ciudad basándonos en las condiciones climáticas favorables, y las propiedades de almacenamiento de energía del suelo, esto además de poder comprender el funcionamiento a través de la experimentación y aplicación de estrategias pasivas. El estudio de casos análogos y proyectos que con éxito han aplicado la técnica pasiva nos permiten tener el precedente de la factibilidad y principalmente los beneficios potenciales para optimizar el consumo energético de la edificación, así como la obtención de espacios confortables.

3. CAPÍTULO III. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

El diseño de la investigación planteado en este capítulo muestra la planeación y metodología para llevar a cabo la etapa experimental. Esta planeación consiste en identificar los periodos de sobrecalentamiento y bajo calentamiento a través del análisis climático de los principales parámetros presentes en la Ciudad de Ensenada con la intención de recabar la información de temperaturas mínimas y máximas para su estabilización a través de un intercambiador de calor tierra-aire por ductos enterrados, aprovechando el potencial térmico del subsuelo. Para este último cometido se lleva a cabo un análisis de los tipos de suelos que existen en la Ciudad de Ensenada, esto para analizar su composición y propiedades térmicas para conservar la energía del Sol. En este capítulo también se analiza cual podría ser el sitio más apropiado para la prueba en campo, el cual se determinara mediante los componentes del suelo a elección, esto es de importancia ya que los distintos usos de suelos analizados se componen de distintos materiales, por lo que el suelo de elección deberá ser apto para llevar a cabo la experimentación en campo, el cual deberá ser el correcto para que las propiedades las cuales se componga sean los adecuados para lograr una transferencia de calor o enfriamiento al aire que ingrese por los ductos propuestos.

La palabra edafología proviene de las raíces *edafos*, suelo y *logos*, por lo tanto, es el estudio de los suelos. Podemos definir el suelo como la capa más superficial de la corteza terrestre, en la cual encuentra soporte la cubierta vegetal natural y gran parte de las actividades humanas (INEGI, 2018).

Se observa en el mapa los tipos de suelo que se encuentran en la ciudad de Ensenada, por lo que en la parte Norte los tipos de suelo que predominan son vertisol, phaeozmen, regosol, combisol, leptosol, en el centro predomina más el regosol, planosol, leptosol mientras que en la zona sur de la ciudad lo que más predomina son el leptosol, phaeozem, regosol y cambisol. Con ello se tiene un conocimiento de los tipos de suelo que se encuentran en la ciudad, por lo cual esto nos permitirá llevar a cabo el estudio de cada uno y determinar las zonas en las cuales es más pertinente llevar a cabo el análisis (INEGI, (s.f.) (*Figura 16*).



Figura 16:Tipos de suelo de Ensenada B.C

Fuente: INEGI, (S.f)

3.1. Tipos de suelo en la ciudad de Ensenada

3.1.1. Suelos Phaeozem

Su nombre deriva de la combinación del vocablo latino phaios, oscuro, y del ruso zemlja, tierra oscura, orgánica. Y es que los Phaeozems son suelos caracterizados por poseer un horizonte superficial A, oscuro por su elevado contenido en materia orgánica (*Tabla 5*).

Esta le confiere una elevada estabilidad estructural, porosidad y fertilidad (horizonte móllico). Posee una extraordinaria actividad biológica, lo que se manifiesta en una buena integración de la materia orgánica con la mineral. Se encuentran en climas templados y húmedos con vegetación natural de pastos altos o bosques. Son suelos oscuros y ricos en materia orgánica, por lo que son muy utilizados en agricultura de temporal; sin embargo, las sequías periódicas y la erosión eólica e hídrica son sus principales limitantes. Se utilizan intensamente para la producción de granos (soya, trigo y cebada, por ejemplo) y hortalizas, como zonas de agostadero cuando están cubiertos por pastos. (INEGI, S.f) .

Este tipo de suelo se encuentra ubicado en distintas zonas de la ciudad de Ensenada, tanto en el norte, noreste, como en el sur, se puede observar en la imagen el cómo se encuentra distribuido. (Figura 17).

Tabla 5: Porcentaje de elementos suelo phaeozem

Profundidad	Porcentaje de fracciones (mm)			Textura
	Arena	Limo	Arcilla	
Cm				
0-15	34	18	48	Arcillosa
15-35	28	16	56	Arcillosa

Fuente: INEGI, 2018

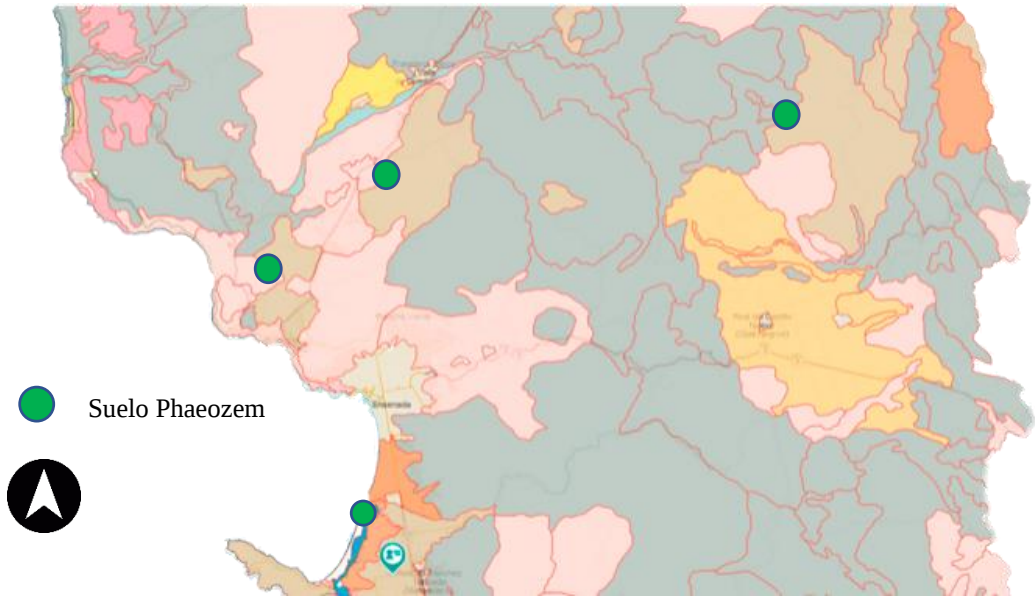


Figura 17: Suelo Phaeozem

Fuente: INEGI, (S.f)

3.1.2 Suelos cambisol

El nombre proviene del latín *cambiare*, *cambiar*, el cual hace referencia a que el suelo manifiesta cambios en profundidad (horizonte subsuperficial cámbico, Bw). Estos cambios se evidencian en el contenido de arcilla, carbonatos, el color y/o la estructura respecto al sustrato.

Se trata de suelos que están caracterizados por tener un horizonte B (**Figura 19**), cámbico, que se define por una textura arenosa o más fina, estructura moderadamente desarrollada o sin estructura de roca, evidencia de alteración. (**Tabla 6**).

Los Cambisoles háplicos o típicos en el alto Aragón abundan en zonas húmedas, de montaña donde, aun desarrollándose sobre material parental calizo.

Si los ciclos de erosión y coluvionamiento no frenan su evolución, pueden ir incorporando materia orgánica en el horizonte superficial (carácter húmico) para acabar convirtiéndose en Phaeozems o en Umbrisoles. A los Cambisoles de fondos y laderas abancaladas por el hombre se le añade el sufijo de escálico (INEGI, S.f).

Este tipo de suelo se encuentra ubicado en el este y oeste de la ciudad de Ensenada (**Figura 18**).

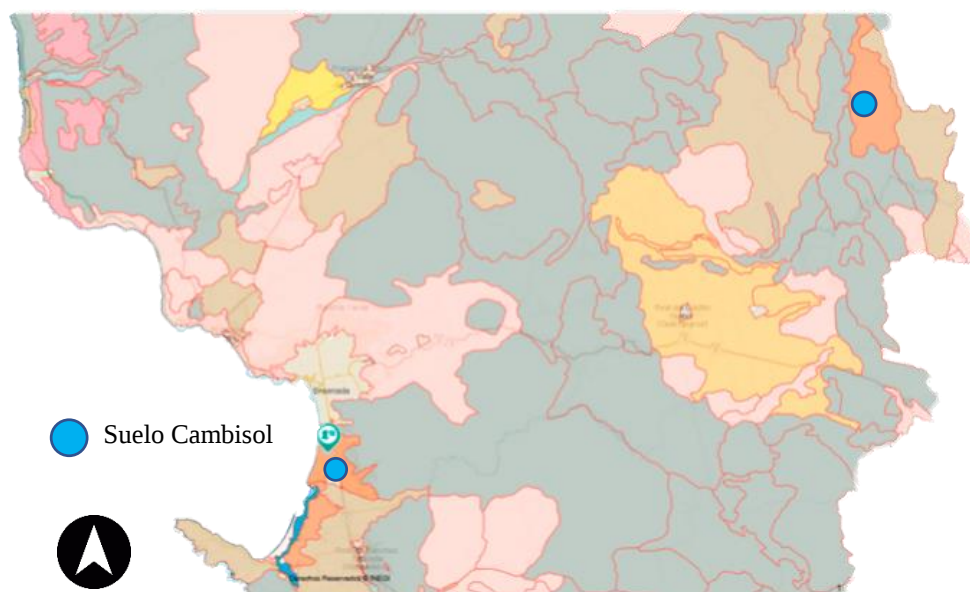


Figura 18: Suelo cambisol

Fuente: INEGI, (S.f)

Tabla 6: Porcentaje de elementos suelo cambisol

Profundidad	Porcentaje de fracciones (mm)			Textura
	Arena	Limo	Arcilla	
cm				
0-20	22	34	44	Arcilloso
20-37	36	37	27	Franco arcilloso
37-90	38	37	25	Franco

Fuente: INEGI, 2018

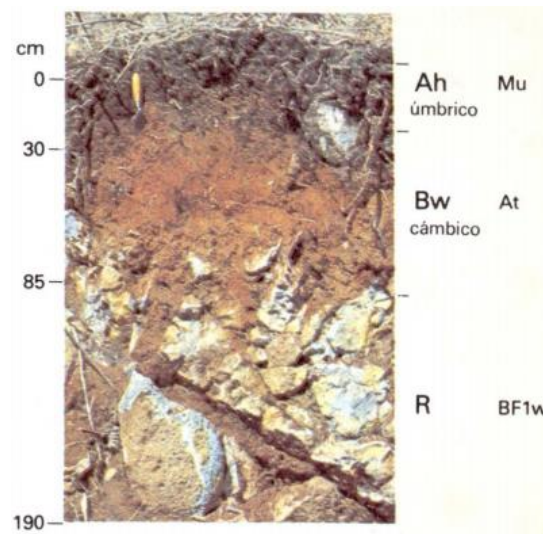


Figura 19: Corte estratigráfico, cambisol

Fuente: Edafología, los suelos y la ecología, s.f

3.1.3 Suelos Leptosol

Su nombre hace referencia al término griego leptos, delgado, puesto que los Leptosoles son suelos delgados, que a escasa profundidad presentan una barrera física, como roca dura continua (contacto lítico) o mucha pedregosidad, o una barrera química como representa un sustrato muy carbonatado.

Debido a estas características, poseen un reducido volumen explorable por las raíces y la capacidad de retención de agua y nutrientes es escasa, especialmente en los Leptosoles líticos, e hiperesqueléticos. Sus propiedades químicas, muy influenciadas por el material parental del que derivan, condicionan su calificación como calcárico, gipsífero, éutrico, dístrico.

Su escasa profundidad e incluso la abundancia de afloramientos rocosos (nudilítico) limitan su uso agrícola, pero pueden admitir un pastoreo ocasional o un uso recreativo.

Suelos limitados en profundidad por una roca dura continua o material muy calcáreo dentro de los 25 cm (INEGI, S.f).

Este tipo de suelo se encuentra ubicado en la ciudad de Ensenada en distintas zonas, tanto norte, sur, como en el este y oeste, este predomina en la ciudad (*Figura 20*).

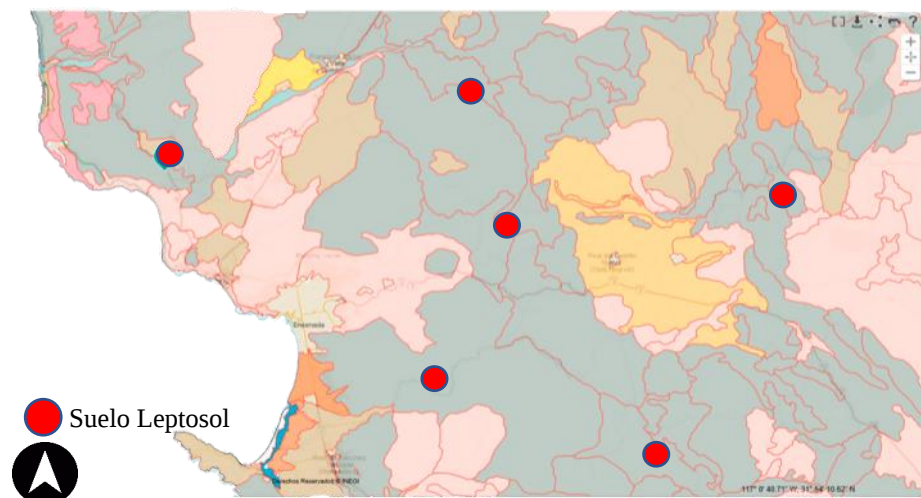


Figura 20: Suelo Leptosol

Fuente: INEGI, (S.f)

3.1.4 Suelos Solonchak

El curioso nombre de Solonchak es de origen ruso: sol, sal y chak, tierra salobre. Se trata de suelos cuya característica común es la elevada concentración de sales solubles a escasa profundidad (horizonte sálico).

Literalmente suelos salinos. Se presentan en zonas donde se acumula el salitre, tales como lagunas costeras y lechos de lagos, o en las partes más bajas de los valles y llanos de las regiones secas del país. Estas sales suelen estar presentes en el material parental y la escasa precipitación, siempre superada por la evapotranspiración, no puede más que redistribuir las sales sin eliminarlas del perfil edáfico (INEGI, S.f).

Este tipo de suelo se encuentra ubicado en el lado norte de la ciudad de Ensenada, y es un tipo el cual no predomina mucho (*Figura 21*).

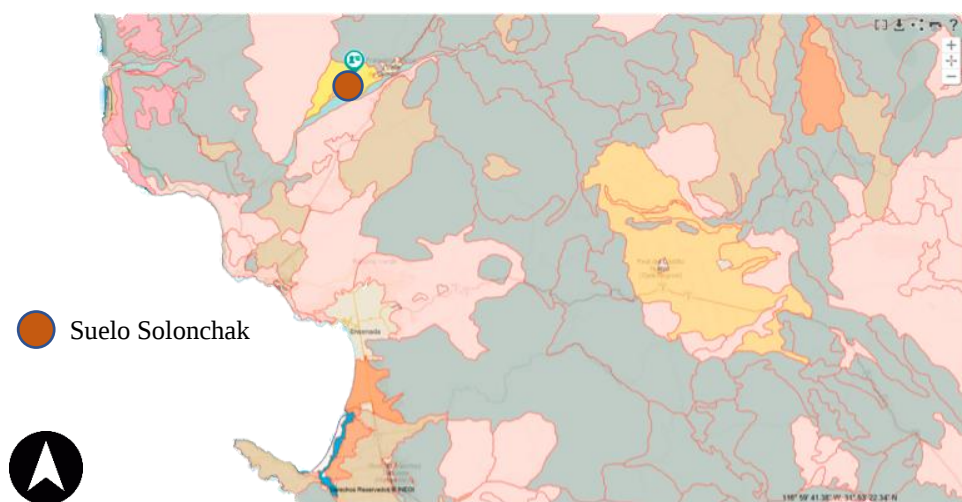


Figura 21: Suelo Solonchak

Fuente: INEGI, (S.f)

3.1.5 Suelos Fluvisol

Su nombre proviene del latín, fluvius, fluvial, recordándonos que son suelos desarrollados sobre sedimentos recientemente aportados por los ríos (arenas, limos, gravas, cantos).

Son suelos poco desarrollados, sin horizonte de diagnóstico superficial y con sedimentos aluviales estratificados. Esta estratificación se evidencia por la presencia de capas (C) con granulometrías diferentes y/o contenidos en materia orgánica irregulares y relativamente elevados. Cada capa corresponde a un episodio de sedimentación, y nos permite interpretar la evolución histórica del río (*Tabla 7*).

Los Fluvisoles se presentan en las terrazas más bajas de los ríos y por tanto, más jóvenes, pues en cuanto transcurre un cierto tiempo (terrazas aluviales más altas, más viejas) estos suelos pasan a Calcisoles en ambientes semiáridos o bien a Cambisoles y Luvisoles en zonas más húmedas.

Se trata de suelos profundos con texturas gruesas y, frecuentemente, con abundantes gravas poligénicas (esqueléticos) lo que los hace muy permeables (INEGI, S.f).

Este tipo de suelo abunda en la ciudad de Ensenada, tanto en el centro, como en el norte, sur, este y oeste (*Figura 22*).

Tabla 7: Porcentaje de elementos suelo Fluvisol

Profundidad	Porcentaje de fracciones (mm)			Textura
Cm	Arena	Limo	Arcilla	
0-50	19	40	41	Arcilloso limoso
50-80	9	66	25	Franco limoso
80-100	23	33	44	Arcilloso
100-125	27	40	33	Franco arcilloso
125-160	21	42	37	Franco arcilloso

Fuente: INEGI, 2018

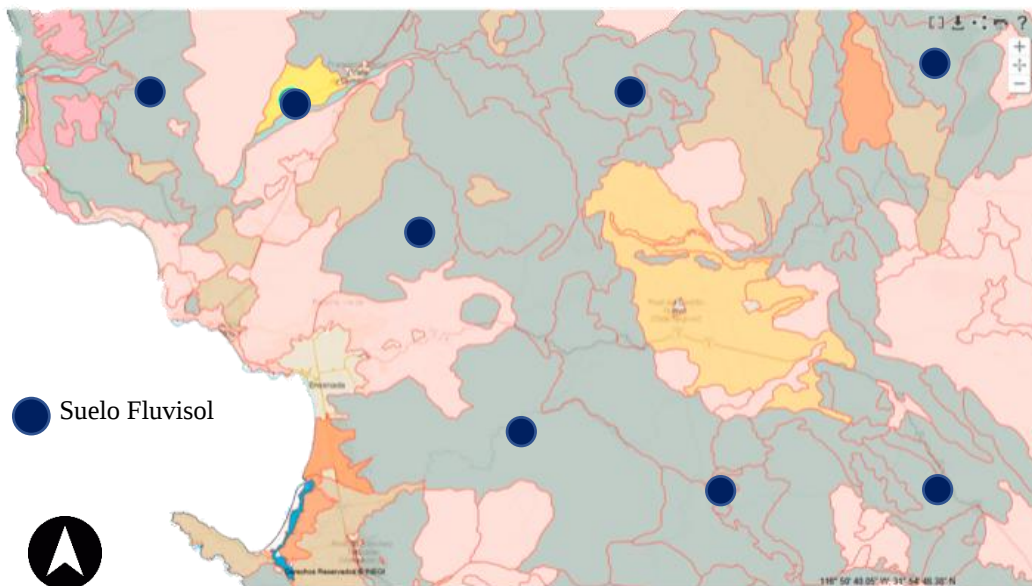


Figura 22: Suelo Fluvisol

Fuente: INEGI, (s.f)

3.1.6 Suelo Regosol

Los Regosoles adquieren su nombre del griego rhegos, manto, haciendo referencia a que se desarrollan sobre un manto de materiales sueltos, poco consolidados. Es que son suelos minerales muy poco evolucionados, con horizontes A sobre materiales no consolidados o capas C (a diferencia de los Leptosoles sobre capas R) y de textura no excesivamente arenosa (lo que los calificaría como Arenosoles) (*Tabla 8*).

Su presencia se asocia a zonas donde los procesos de formación han actuado durante muy poco tiempo o con poca intensidad, por el clima muy frío o muy cálido, o como consecuencia de su rejuvenecimiento por erosión (INEGI, S.f).

Este tipo de suelo es el que más predomina en la ciudad de Ensenada, gracias a sus propiedades, y estos se ubican tanto en el centro, como en el norte y sur de la ciudad (*Figura 23*).

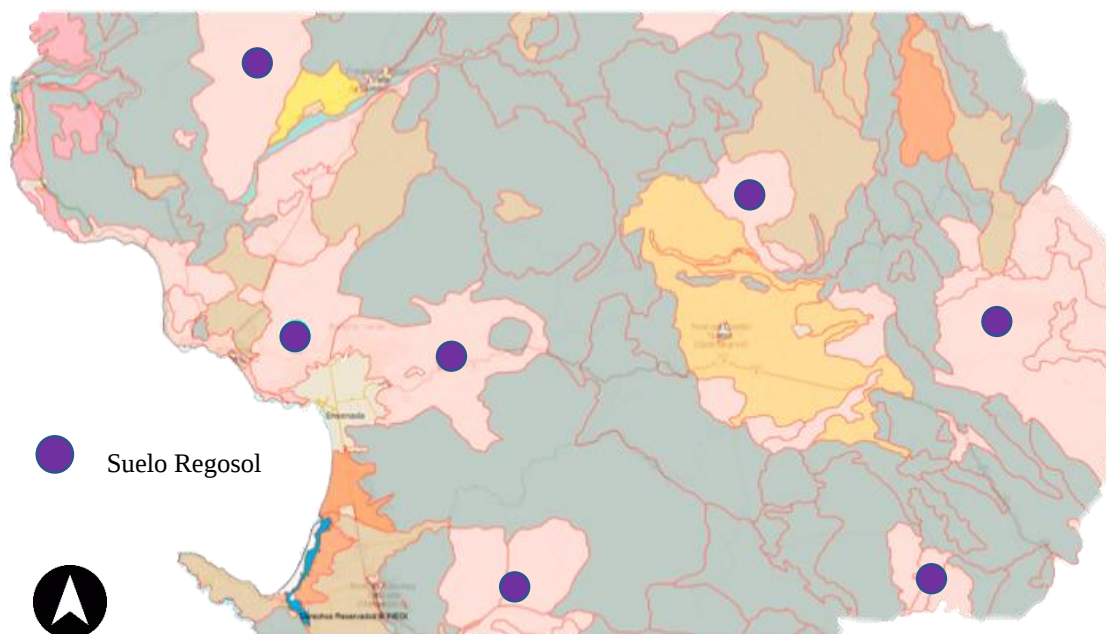


Figura 23: Suelo Regosol

Fuente: INEGI, (s.f)

Tabla 8: Porcentaje de elementos suelo regosol

Profundidad	Porcentaje de fracciones (mm)			Textura
	Arena	Limo	Arcilla	
Cm				
0-15	No detectado	66.5	33.5	Arcilloso
15 en adelante	No detectado	66.8	34.2	Franco arcilloso

Fuente: Gaspar et, ITEA, 2014

3.2 Clima

Los datos para el presente análisis climático se obtuvieron, principalmente, de la Estación Meteorológica Automática (EMA) C02-Ensenada, durante un periodo de registro de 18 años comprendido de 2000 a 2017 (**Tabla 9**). La estación meteorológica se ubica al norte de la ciudad de Ensenada, Baja California (**Figura 24**) coordenadas geográficas: latitud 31°53'29" N, longitud 116°36'12" W, altitud 32 msnm—y es dependiente del Servicio Meteorológico Nacional (SMN-CONAGUA, S.f).

De acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen (García E., 2004), el clima de la ciudad de Ensenada es BSo ks (e) (seco extremoso, no es tipo Ganges y con presencia de canícula).

Menciona Fuentes (2004) que es conveniente determinar, paralelamente con la clasificación climática de Köppen (García E., 2004), la agrupación bioclimática del sitio en estudio, el cual pretende clasificar las localidades de acuerdo a sus requerimientos arquitectónicos y bioclimáticos con el fin de complementarse mutuamente con la primera clasificación climática mencionada desde una perspectiva de diseño arquitectónico (Fuentes & Figueroa, 1990).



Figura 24: Ubicación de la EMA BC02-Ensenada y el Observatorio Sinóptico de Ensenada

Fuente: Huerta, 2018

COORDENADAS	LATITUD: 31° 53' 29" N		31.89	CIUDAD													
	LONGIT: 116° 36' 11" E		116.60	ENSENADA, BAJA CALIFORNIA													
	ALTITUD: 32 msnm		32														
PERIODO	2000-2017			CLIMA:	BS0 ks(e) (Seco, extremo, no es tipo ganges, presencia de canícula)												
				BIOCLIMA:	Templado Seco												
FUENTE	VARIABLES CLIMATOLÓGICAS		UNIDAD	AÑOS	MESES												ANUAL
					ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
a	TEMPERATURA	MAXIMA EXTREMA	°C	18	31.6	31.9	33.7	35.6	37.3	32.9	32.3	32.7	36.3	36.3	36.5	29.8	37.3
a		FECHA	dd/aaaa	n/d	26/2003	21/2002	16/2014	27/2008	03/2004	20/2016	26/2015	30/2009	26/2009	10/2015	09/2015	08/2001	3-may.-2004
a		PROMEDIO MÁXIMA	°C	18	19.7	19.2	19.7	20.0	20.4	21.4	23.7	24.6	24.9	23.3	21.3	19.0	21.4
a		MEDIA	°C	18	14.3	14.2	15.0	15.7	17.1	18.5	20.9	21.5	21.1	18.9	16.4	13.9	17.3
a		PROMEDIO MÍNIMA	°C	18	8.9	9.2	10.3	11.4	13.7	15.6	18.0	18.4	17.3	14.5	11.4	8.8	13.2
a		MINIMA EXTREMA	°C	18	0.9	0.5	4.8	5.0	2.8	9.7	13.0	12.2	11.5	1.9	4.3	3.1	0.5
a		FECHA	dd/aaaa	n/d	14/2007	21/2004	01/2007	06/2003	06/2004	02/2011	01/2004	09/2010	21/2004	15/2005	27/2010	28/2003	21-feb.-2004
b		OSCILACIÓN	°C	18	10.7	9.9	9.4	8.6	6.7	5.8	5.7	6.2	7.5	8.8	9.9	10.1	8.3
	RADIACIÓN SOLAR	INSOLACIÓN TOTAL	h														
a		TOTAL (Global)	W/m²	18	644.8	761.7	901.7	991.8	991.8	987.8	982.4	944.8	894.5	784.1	672.0	609.9	847.3
e		DIRECTA	W/m²	18	533.3	608.4	673.7	779.8	805.8	789.6	776.8	702.9	711.4	686.0	616.8	566.3	687.6
e		DIFUSA	W/m²	18	111.5	153.3	228.0	212.0	186.0	198.3	205.6	241.8	183.1	98.0	55.2	43.6	159.7
a	PRESIÓN	MEDIA	hPa	18	1012.7	1011.8	1011.1	1009.9	1008.4	993.3	1007.4	1006.8	1006.1	1008.2	1010.8	1012.3	1,008.2
c	HUMEDAD	TENSION MEDIA DE VAPOR	mb	20	10.7	10.6	11.0	11.5	13.0	14.4	16.2	18.2	17.6	15.1	12.7	11.5	13.5
a		RELATIVA MAXIMA	%	18	83.9	89.5	90.2	90.5	90.9	91.2	92.6	94.2	92.8	89.5	86.0	86.8	89.8
a		RELATIVA MEDIA	%	18	65.4	70.7	74.9	75.1	78.1	80.1	85.2	86.1	83.4	76.0	67.0	67.8	75.8
a		RELATIVA MINIMA	%	18	40.2	46.2	50.6	52.4	63.0	67.7	70.1	69.3	65.3	56.1	44.8	41.8	55.6
d		EVAPORACIÓN TOTAL	mm	30	83.3	82.9	106.3	131.3	149.7	156.6	178.7	170.5	147.2	126.2	96.4	81.2	1,510.3
c		TEMP. DE BULBO HÚMEDO	°C	20	11.2	11.5	11.9	13.2	14.3	15.6	17.8	18.7	18.3	16.1	13.8	11.6	14.5
a	PRECIPITACIÓN	TOTAL	mm	18	38.7	49.1	28.1	14.7	7.1	5.1	0.6	1.5	2.3	9.6	13.3	47.1	217.3
a		MAXIMA	mm	18	130.0	112.8	72.7	49.2	38.5	80.5	4.1	14.7	14.9	64.7	43.6	116.3	130.0
a		FECHA	aaaa	n/d	2017	2017	2006	2010	2015	2000	2003	2014	2016	2004	2008	2016	ENE-2017
a		MAXIMA EN 24 h	mm	18	54.8	52.4	44.4	19.0	34.0	34.2	3.6	14.7	8.1	44.2	35.8	46.9	54.8
a		FECHA	dd/aaaa	n/d	21/2010	27/2017	01/2015	22/2010	15/2015	15/2000	28/2003	02/2004	20/2016	27/2004	30/2007	17/2008	21-ene.-2010
a		MAXIMA EN 1 h	mm	18	13.7	9.1	8.9	9.9	15.0	9.7	3.6	12.4	4.8	13.2	20.1	11.7	20.1
a		FECHA	dd/aaaa	n/d	19/2010	03/2008	11/2006	10/2016	22/2006	15/2000	28/2003	02/2014	11/2015	21/2015	30/2007	29/2004	30-nov.-2007
a		MINIMA	mm	18	0.3	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
a		FECHA	aaaa	n/d	2006	2002	2009	2013	2001	2001	2002	2001	2001	2001	2005	2013	

c	FRECUENCIA DE FENÓMENOS ESPECIALES	LLUVIA APRECIABLE	Días	25	3.3	3.9	3.8	2.7	1.0	0.3	0.2	0.3	0.4	0.9	2.5	3.3	22.7
c		LLUVIA INAPRECIABLE	Días	25	0.6	0.3	0.6	0.7	0.5	0.4	0.1	0.2	0.3	0.6	0.3	0.7	5.4
c		DIAS DESPEJADOS	Días	25	17.6	15.4	15.8	14.9	13.4	14.0	14.0	15.8	18.5	18.9	18.0	18.5	194.7
c		DIAS MEDIO NUBLADOS	Días	25	7.5	7.5	9.1	9.4	10.3	10.0	11.8	11.6	7.5	8.1	7.8	7.4	107.8
c		DIAS NUBLADO / CERRADO	Días	25	6.0	5.2	6.1	5.7	7.3	6.0	5.1	3.6	4.0	4.0	4.0	5.2	62.1
c		DIAS CON ROCIO	Días	5	0.0	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1
c		GRANIZO	Días	25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
c		HELADAS	Días	26	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
c		TORMENTA ELÉCTRICA	Días	26	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
c		NIEBLA	Días	26	2.7	1.3	1.6	0.9	5.3	5.2	4.8	3.2	5.3	2.8	2.6	2.7	38.3
c		NEVADA	Días	25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
c		VISIBILIDAD DOMINANTE	km	26	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0

Unidades:

°C	Grados Centígrados	mm	Milímetros
h	Hora	Días	Días
W/m ²	Watt / Metro cuadrado	aaaa	Año (4 dígitos)
hPa	Hectopascal	dd/aaaa	Día (2 dígitos) / Año (4 dígitos)
%	Por ciento	n/d	Dato no disponible

Fuente:

- a. Promedios determinados apartir de lecturas obtenidas en la Estación Meteorológica Automatica Presa Emilio Lopez Zamora (periodo 2000-2017) ubicada al norte de Ensenada, Baja California (latitud 31°53'29" N, longitud 116°36'11" W, altitud 32.0 msnm) administrada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN-CONAGUA).
- b. "Datos calculados" en virtud de no contar con información de esta variable climática en alguna de las normales climatológicas de las estaciones analizadas.
- c. Datos obtenidos de las normales climatológicas (periodo 1951-1980) del Observatorio Sinóptico ubicado en Ensenada, Baja California (latitud N 31°49', longitud W 116° 37' y altitud 13 msnm) dependiente del Servicio Meteorológico Nacional (SMN-CONAGUA).
- d. Datos obtenidos de las normales climatológicas (periodo 1981-2010) de la Estación Metereológica Automatica Presa Emilio López Zamora ubicado en Ensenada, Baja California (latitud N 31°53'45", longitud W 115° 35'50" y altitud 43 msnm) dependiente del Servicio Meteorológico Nacional (SMN-CONAGUA).
- e. "Datos calculados" en virtud de no contar con registros históricos de las componentes de la radiación solar por separado. El cálculo fue con base en Fernández Zayas, J. L. y V. Estrada-Cajigal (1983). Cálculo de la Radiación Solar Instantánea en la República Mexicana, Instituto de Ingeniería, UNAM, serie no. 472, México.

***Nota: En caso de no contar con ciertos datos climáticos, simplemente dejar VACÍA la celda.

Tabla 9: Normales climatológicas periodo (2000-2017)

Fuente: Tomado de “Un reflejo del análisis climático, y bioclimático de Ensenada B.C.”, por Huerta, 2018

Acorde a lo anteriormente mencionado resulta necesario relacionar la temperatura media del mes cálido con la precipitación pluvial total anual. La primera determinará las condiciones de confort, alto calentamiento o bajo calentamiento para el periodo cálido del año.

En la (Figura 25) se puede visualizar esquemáticamente la relación y los límites entre ambas variables climáticas encargadas de definir cada uno de los bioclimas locales.

Con base en lo anteriormente descrito, la agrupación bioclimática local de la ciudad de Ensenada corresponde al bioclima templado seco ya que la temperatura media del mes cálido (agosto) es 21,5 °C y la precipitación pluvial anual se muestra en 217,3 mm, lo que representa un régimen de lluvias bajo.

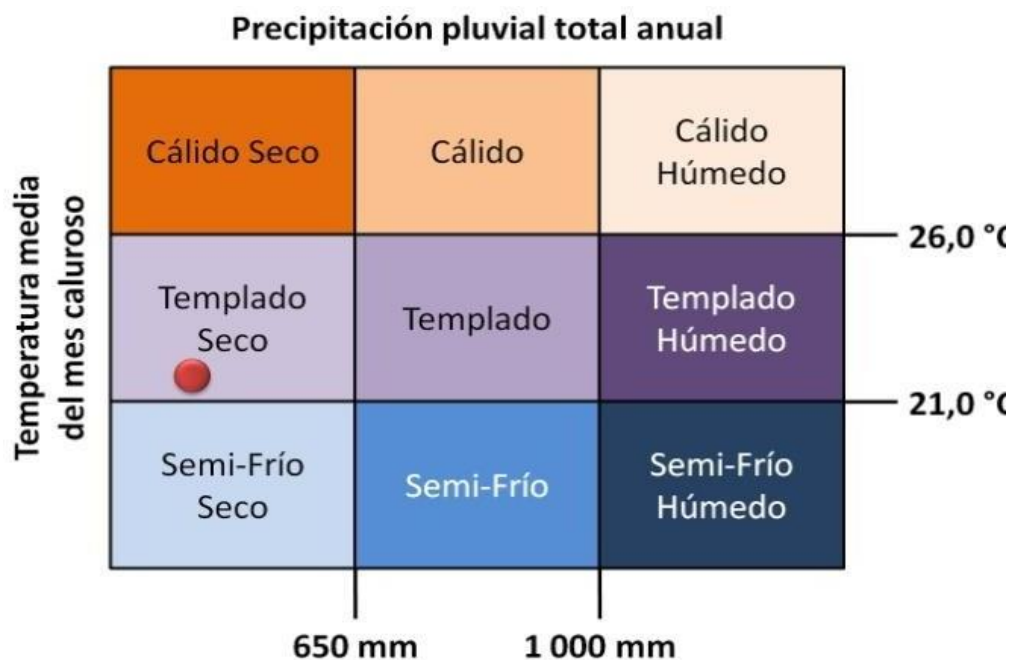


Figura 25: Agrupación bioclimática

Fuente: Fuentes y Figueroa, 1990

3.2.1 Temperatura

La temperatura óptima de confort anual —Temperatura Neutra (T_n) o de Termopreferendum— es de $23,0^{\circ}\text{C}$, con un rango aceptable (Zona de Confort) entre los $20,5^{\circ}\text{C}$ y $25,5^{\circ}\text{C}$. La temperatura media (T_{med}) anual es de $17,3^{\circ}\text{C}$; la media del mes cálido es de $21,5^{\circ}\text{C}$ en agosto y la media del mes frío es de $13,9^{\circ}\text{C}$ en diciembre. De acuerdo a la (**Figura 26**) las Temperaturas Máximas (T_{max}) a lo largo del año — generalmente alrededor de las 15 h 00, horario solar (Fuentes, 2004) —se ubican dentro de la ZC, excepto por los meses de febrero y diciembre que se encuentran por debajo de ella; mientras tanto, las T_{med} y las Mínimas (T_{min}) de todo el año —generalmente alrededor de las 06 h 00, horario solar (Fuentes, 2004) —se encuentran por debajo de la ZC. Asimismo, las Temperaturas Máximas Extremas ($T_{max\ ext}$) y Mínimas Extremas ($T_{min\ ext}$) — presentadas eventualmente a lo largo del periodo analizado— se encuentran fuera de la ZC al ubicarse por encima del ZCs y por debajo del ZCi, respectivamente.

En esta se puede observar que únicamente las tardes a lo largo del año (excepto febrero y diciembre) son las que ofrecen condiciones óptimas de confort, mientras que las noches, madrugadas y mañanas de todo el año son frías, con posibilidad de alcanzar temperaturas extremas cercanas a los $0,0^{\circ}\text{C}$ en invierno.

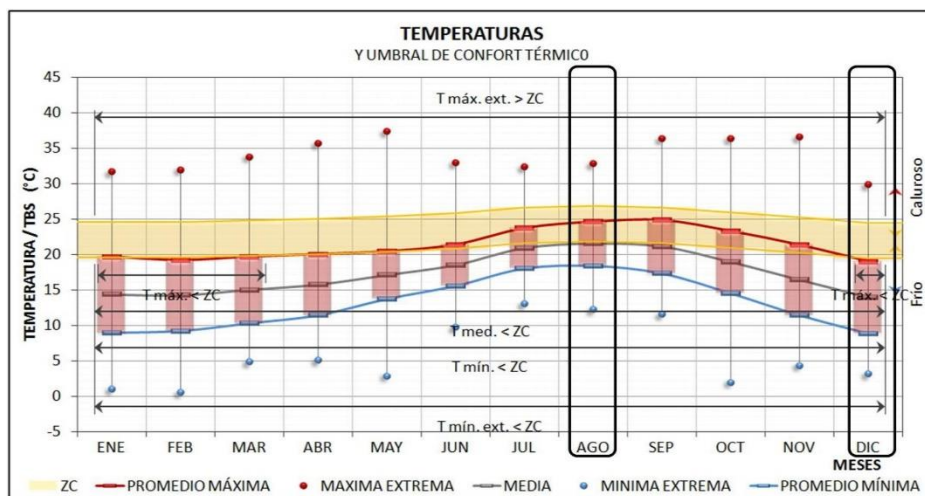


Figura 26: Comportamiento mensual de las temperaturas, máxima, media y mínima

Fuente: Tomado de “Un reflejo del análisis climático, y bioclimático de Ensenada B.C. “, por Huerta, 2018

La oscilación de temperatura anual promedio es baja, corresponde a 8,3 K; mientras que la oscilación diaria promedio anual es extrema, corresponde a 36,8 K.

En la (*Figura 27*) se puede apreciar que en ningún momento se presentan condiciones de Sobrecalentamiento (SC) a lo largo del año, aunque las temperaturas extremas (históricas) demuestran que en casos aislados se han registrado temperaturas cercanas a los 40,0°C—; no obstante, sólo el 19 % del tiempo se encuentra en condiciones de Confort (CF) térmico y un 81 % del año presenta condiciones de Bajo Calentamiento (BC)(*Tabla 10*).

Con lo anterior, es posible concluir que cerca del 81,0% del año presenta requerimiento de calentamiento y, sólo un 19,0% del tiempo, presenta condiciones ideales de confort térmico, por lo que no representa requerimiento alguno.

- Enero: Las condiciones de BC —inferiores a los 19,5 °C (ZCi mensual) — se presentan de las 17 h 00 a las 14 h 00 del día siguiente; con esto, las condiciones de confort térmico dan lugar durante tres horas al día (de 14 h 00 a 17 h 00).
- Agosto: Las condiciones de BC—inferiores a los 21,8 °C — se presentan de las 23 h 00 a las 10 h 00 del día siguiente; con esto, las condiciones de confort térmico dan lugar a doce horas al día (de 11 h 00 a 22 h 00
- Septiembre: Las condiciones de BC —inferiores a los 21,6 °C (ZCi mensual) — se presentan de las 22 h 00 a las 10 h 00 del día siguiente; con esto, las condiciones de confort térmico se perciben durante doce horas al día (de 10 h 00 a 22 h 00).
- Diciembre: Las condiciones de BC —inferiores a los 19,5 °C, 19,7 °C y 19,4 °C, respectivamente (ZCi de cada uno de los meses mencionados) — se presentan durante todo el día; con esto, las condiciones de confort térmico son nulas.

Con lo anterior, resulta evidente que durante los meses a trabajar (Enero,Agosto,Septiembre y Diciembre) existen requerimientos de un confort térmico en algunos de los meses, por lo que se busca alcanzar esas condiciones adecuadas de confort en los meses establecidos, específicamente en los horarios más críticos requeridos en los meses ,no obstante, el periodo de mayor atención se

centra en diciembre, donde las condiciones de baja temperatura prevalecen durante todo el día y donde es posible alcanzar temperaturas cercanas a los 8,8°C durante las madrugadas. Asimismo, agosto, septiembre en donde se presentan condiciones ideales de confort térmico se extiende hasta nueve horas diarias (en promedio) en el transcurso de las tardes; sin embargo, durante las noches, madrugadas y mañanas se presentan requerimientos variados de calentamiento. Así mismo, es posible observar que las temperaturas bajas del año (rango de 8,8°C a 20,5 °C) a lo largo de todo el día, durante el periodo de diciembre (según los meses trabajados) correspondiendo nuevamente.

La elección de los meses en los que se lleva a cabo la experimentación fueron septiembre como mes con sobrecalentamiento y enero como bajo calentamiento, estos fueron elegidos más que nada por exceso de tiempo ya que el periodo o los meses más adecuados ya habían pasado, así como también el periodo vacacional que se acercaba, por lo que se toma la decisión de llevarse a cabo en ya dichos meses (*Figura 26*).

Tabla 10: Comportamiento térmico anual

<i>Temperatura</i>	<i>Comportamiento térmico</i>		<i>Total (%)</i>
	Sobrecalentamiento (SC)		0.0
	Confort (CF)		19
	Bajo calentamiento (BC)		81

Fuente: Tomado de “Un reflejo del análisis climático, y bioclimático de Ensenada B.C. “, por Huerta, 2018

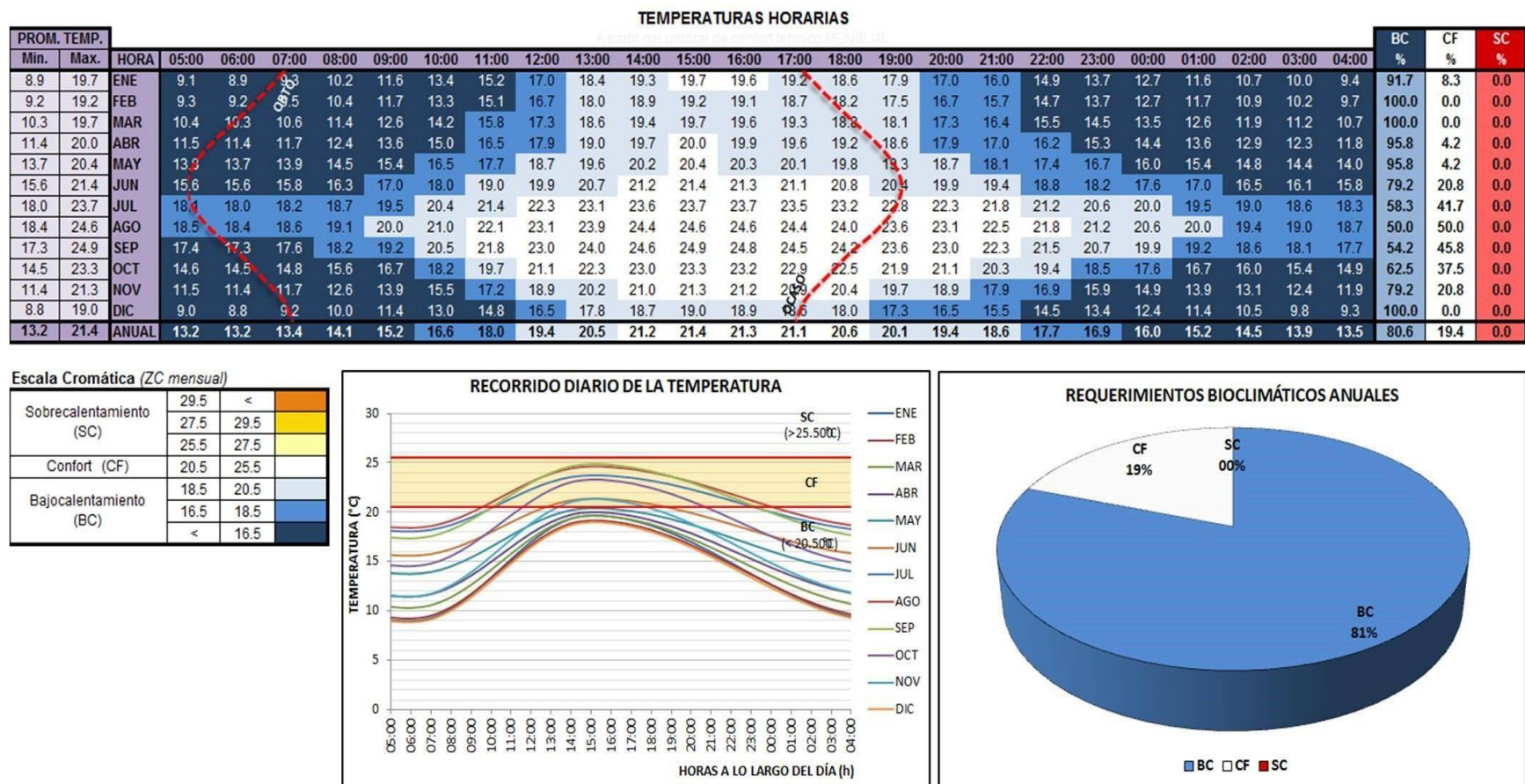


Figura 27: Temperaturas horarias

Fuente: Tomado de “Un reflejo del análisis climático, y bioclimático de Ensenada B.C. “, por Huerta, 2018

3.2.2 Humedad relativa

De acuerdo con investigaciones recientes (Marco et al., 2003; Sosa y Siem, 2004), el ser humano es poco sensible a los cambios de Humedad Relativa dentro del margen del 30,0 % al 70,0%, y si éstos al realizarse se percibieran, se manifestarían como cambio de temperatura, aunque ésta permanezca constante. Con base en los datos climáticos de la estación meteorológica señalada al inicio de este análisis, la Humedad Relativa Media (HRmed) anual para la ciudad de Ensenada se pondera en 75,8 % con una oscilación anual promedio de 34,2 %. En el mes seco (enero) se presenta una HRmed igual a 65,4 %, mientras que en el mes húmedo (agosto) una igual a 86,1 %.

El comportamiento mensual de la HR a lo largo del año. En la gráfica se aprecia que durante todo el año la Humedad Relativa Mínima (HRmin) —presente generalmente a las 15 h 00, horario solar (Fuentes, 2004), como la Humedad Relativa Máxima (HRmax) de todo el año—generalmente a las 06 h 00, horario solar (Fuentes, 2004)—, se encuentran por encima de la ZCs, con diferencias de hasta 16,1 % (en agosto) en el primero de los casos y variaciones que van de 13,9% (en enero) a 24,2% (en agosto) en el segundo de ellos. Cabe mencionar que el comportamiento mensual de la HR (máxima, media y mínima) a lo largo del año se mantiene prácticamente uniforme por ser de ciudad costera, factor que ocasiona que, si bien las temperaturas no desciendan, éstas mantengan un margen de oscilación inferior al mostrado en el resto del año (*Figura 28*).

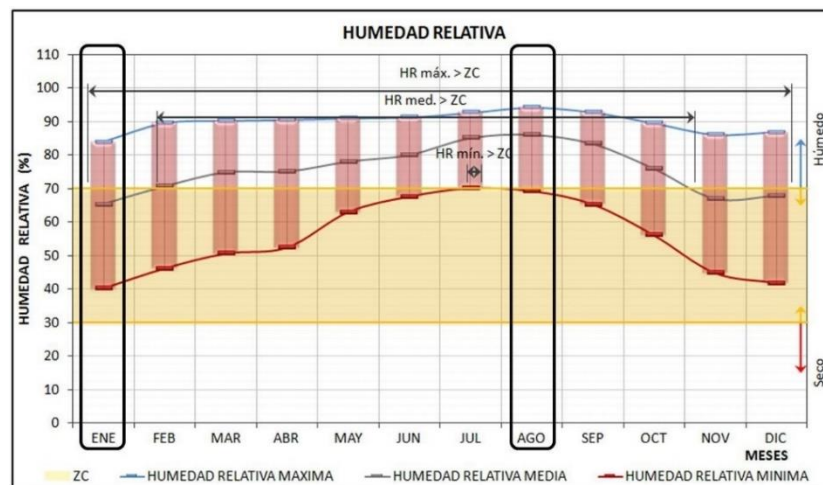


Figura 28: Comportamiento mensual HR mínima, media y máxima

Fuente: Tomado de “Un reflejo del análisis climático, y bioclimático de Ensenada B.C. “, por Huerta, 2018

Por otro lado, el análisis horario de la HR (*Figura 29*) arroja requerimientos nulos de humidificación al tratarse de un litoral. En contraste, el 61,0 % del tiempo específicamente durante la totalidad de las madrugadas y mañanas de la mayoría del año presenta niveles superiores al 70,0 % de HR (ZCs), lo que indica requerimientos de des humidificación en estos horarios (*Tabla 11*).

Tabla 11: Comportamiento anual HR

		COMPORTAMIENTO TÉRMICO	TOTAL (%)
HUMEDAD RELATIVA (HR)		Humedad baja (HB)	0.0
		Confort (CF)	39
		Humedad alta (HA)	61

Fuente: Tomado de “Un reflejo del análisis climático, y bioclimático de Ensenada B.C. “, por Huerta, 2018

Asimismo, es de mencionar que el 39,0 % restante del año específicamente durante las mañanas, de enero, así como la totalidad de las tardes de todo el año presenta condiciones ideales de HR al conseguir niveles variados que oscilan entre el 30,0 % y 70,0 % (*Figura 28*).

Los datos horarios muestran detalladamente el comportamiento hídrico a lo largo del día (*Figura 29*) con esos datos se obtiene que:

- Enero: La Humedad Alta (HA) superior a la ZCs (70,0 %) se presenta de las 01 h 00 a las 09 h 00, mientras que las condiciones de Humedad Baja (HB) inferiores a la ZCi (30,0 %) son nulas en el mes
- Agosto: La HA se presenta de las 17 h 00 a las 14 h 00 del día siguiente, lo que indica que las condiciones de confort hídrico se perciben durante tres horas al día (parte de la tarde).
- Septiembre: La HA se presenta de las 20 h 00 a 12 h 00; con esto, las condiciones de confort hídrico se perciben durante ocho horas al día (toda la tarde y parte de la noche).
- Diciembre: La HA se presenta de 00 h 00 a 09 h 00, mientras que las condiciones de HB son inexistentes, lo que indica que las condiciones de confort hídrico se perciben durante quince horas al día (parte de la mañana, toda la tarde y toda la noche).

PROM. HUM.		HUMEDADES RELATIVAS HORARIAS																										HB	CF	HA
Min.	Max.	HORA	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	%	%	%	
40.2	83.9	ENE	83.4	83.9	88.5	78.8	72.9	65.8	58.2	51.1	45.3	41.5	40.2	40.7	42.1	44.4	47.4	51.1	55.3	59.7	64.3	68.8	72.9	76.6	79.7	82.0	0.0	62.5	37.5	
46.2	89.5	FEB	89.1	89.5	88.2	84.5	78.7	71.6	64.1	57.0	51.2	47.5	46.2	46.6	48.0	50.3	53.3	57.0	61.1	65.6	70.1	74.5	78.7	82.4	85.4	87.7	0.0	50.0	50.0	
50.6	90.2	MAR	89.8	90.2	89.0	85.6	80.3	73.9	67.0	60.5	55.2	51.8	50.6	51.0	52.3	54.4	57.2	60.5	64.3	68.3	72.5	76.5	80.3	83.7	86.4	88.5	0.0	50.0	50.0	
52.4	90.5	ABR	90.1	90.5	89.4	86.0	81.0	74.8	68.1	61.9	56.9	53.6	52.4	52.8	54.1	56.0	58.7	61.9	65.6	69.5	73.4	77.3	81.0	84.2	86.9	88.9	0.0	50.0	50.0	
63.0	90.9	MAY	90.6	90.9	90.1	87.7	84.0	79.4	74.6	70.0	66.3	63.9	63.0	63.3	64.2	65.7	67.6	70.0	72.7	75.5	78.4	81.3	84.0	86.3	88.3	89.7	0.0	37.5	62.5	
67.7	91.2	JUN	91.0	91.2	90.5	88.5	85.3	81.5	77.4	73.6	70.4	68.4	67.7	67.9	68.7	69.9	71.6	73.6	75.8	78.2	80.7	83.1	85.3	87.3	89.0	90.2	0.0	20.8	79.2	
70.1	92.6	JUL	92.4	92.6	91.9	90.0	87.0	83.3	79.4	75.8	72.8	70.8	70.1	70.4	71.1	72.3	73.9	75.8	77.9	80.2	82.6	84.9	87.0	88.9	90.5	91.7	0.0	0.0	100.0	
69.3	94.2	AGO	93.9	94.2	93.5	91.3	88.0	83.9	79.6	75.5	72.2	70.1	69.3	69.6	70.4	71.7	73.4	75.5	77.9	80.5	83.1	85.6	88.0	90.1	91.8	93.1	0.0	8.3	91.7	
65.3	92.8	SEP	92.5	92.8	91.9	89.5	85.9	81.4	76.7	72.2	68.5	66.1	65.3	65.6	66.5	67.8	69.9	72.2	74.8	77.6	80.5	83.3	85.9	88.2	90.1	91.6	0.0	29.2	70.8	
56.1	89.5	OCT	89.1	89.5	88.5	85.6	81.1	75.7	69.9	64.4	60.0	57.1	56.1	56.4	57.5	59.3	61.6	64.4	67.6	71.0	74.5	77.9	81.1	83.9	86.3	88.0	0.0	45.8	54.2	
44.8	86.0	NOV	85.5	86.0	84.7	81.1	75.7	69.0	61.8	55.1	49.6	46.0	44.8	45.2	46.6	48.7	51.6	55.1	59.0	63.2	67.5	71.7	75.7	79.2	82.0	84.2	0.0	58.3	41.7	
41.8	86.8	DIC	86.3	86.8	85.4	81.5	75.5	68.2	60.4	53.0	47.1	43.2	41.8	42.3	43.7	46.1	49.2	53.0	57.3	61.9	66.6	71.2	75.5	79.3	82.5	84.8	0.0	58.3	41.7	
55.6	89.8	ANUAL	89.5	89.8	88.8	85.8	81.3	75.7	69.8	64.2	59.6	56.7	55.6	56.0	57.1	58.9	61.3	64.2	67.4	70.9	74.5	78.0	81.3	84.2	86.6	88.4	0.0	39.2	60.8	

Escala Cromática

Humedad Alta (HA)	80.0	<	
	75.0	80.0	
Confort (CF)	70.0	75.0	
	30.0	70.0	
Humedad Baja (HB)	25.0	30.0	
	20.0	25.0	
	<	20.0	

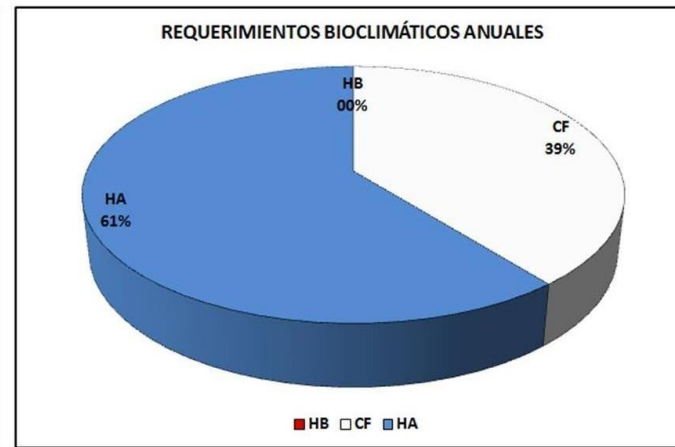
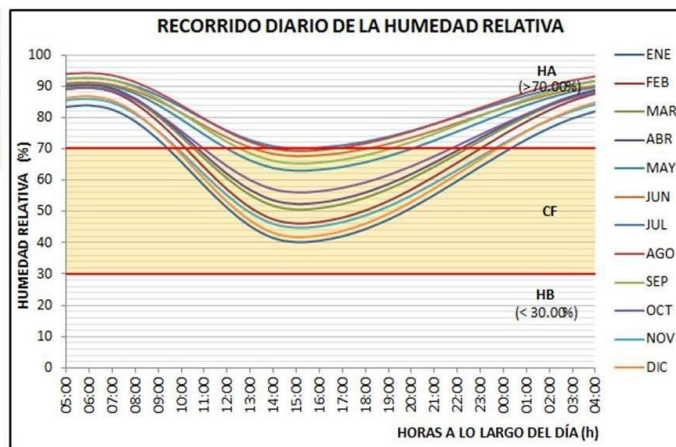


Figura 29: Humedad relativa horaria

Fuente: Tomado de “Un reflejo del análisis climático, y bioclimático de Ensenada B.C.”, por Huerta, 2018

3.2.3 Radiación

La radiación solar total (RSg) máxima promedio en la ciudad de Ensenada es alta durante prácticamente todo el año, excepto por el periodo de diciembre a febrero al presentar registros superiores a los 700,0 W/m² (que, para una hora de tiempo es igual a 2,5 MJ/m²h). Abril y mayo destacan con una RSg máxima promedio de 991,8 W/m²(3,6 MJ/m²h); en contraste, los meses en que da lugar la menor RSg máxima promedio en el transcurso del año son diciembre y enero con 609,9 W/m²(2,2 MJ/m²h) y 644,8 W/m²(2,3 MJ/m²h).

De igual manera, la Radiación Solar Directa (RSb) máxima es alta durante todo el año al mantener niveles de radiación por encima de los 500,0 W/m² (1,8MJ/m²h). Mayo destaca nuevamente con la RSb máxima promedio más alto, ésta corresponde a 805,8 W/m² (2,9 MJ/m²h); en contraste, enero y diciembre se caracterizan por mostrar los valores más bajos de la RSb máxima promedio con 533,3 W/m² (1,9 MJ/m²h) y 566,3 W/m² (2,0 MJ/m²h), respectivamente. Por su parte, la Radiación Solar Difusa (RSd) se presenta con niveles irregulares—durante todo el año— que oscilan entre los 43,6 W/m² (0,2 MJ/m²h), en diciembre, y los 241,8 W/m² (0,9 MJ/m²h), en agosto.

Como es de suponer, la radiación solar descende durante el periodo de octubre a diciembre debido a la declinación solar generada entre la posición del Sol y la ubicación geográfica de la ciudad en estudio. La latitud de la ciudad de Ensenada es de 31° 53' 29" (superior a 23° 27'), por lo que el Sol —a medio día solar— alcanza una inclinación de 81.6° durante el mes de junio.

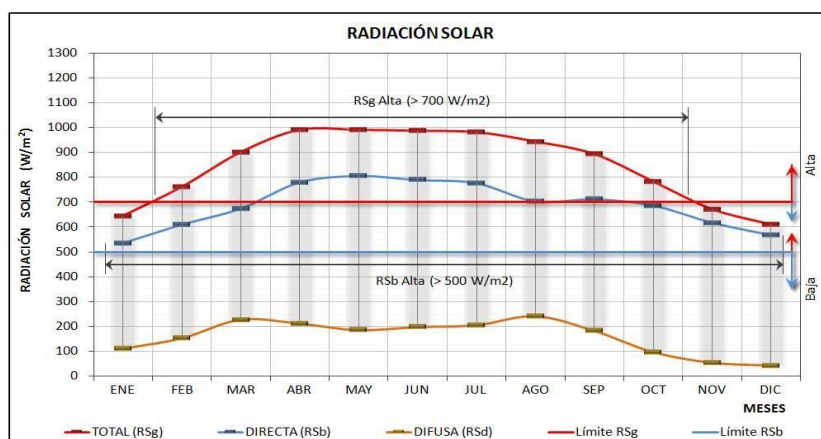


Figura 30: Comportamiento mensual, radiación solar

Fuente: Tomado de “Un reflejo del análisis climático, y bioclimático de Ensenada B.C. “, por Huerta, 2018

3.2.4 Vientos

En la (*Figura 31*) se muestra detalladamente la frecuencia y la velocidad mensual, anual y por dirección (de origen) del viento presentado a lo largo del año en la ciudad de Ensenada. Con ello se muestra de manera particular la forma cómo se originan las corrientes eólicas a partir de su procedencia e intensidad durante el periodo comprendido entre 2000-2017.

En la (*Figura 32*) se puede apreciar de una manera general la rosa anual predominante de la ciudad de Ensenada. Este diagrama concentra esquemáticamente información relacionada con el origen y la dirección de los vientos dominantes y reinantes del sitio en estudio (Huerta, 2018).

La rosa anual de vientos predominantes muestra que el 19,3 % de las frecuencias totales provienen del Suroeste (SW) y el 13,8 % del Sur (S), lo que indica que durante un largo periodo al año (33,1 % del tiempo) los vientos dominantes provienen del rango S-SW. No obstante, también es considerable la procedencia de éstos del Noreste (NE) y del Este (E) con una frecuencia promedio anual de 13,1 % y 12,6 %, respectivamente; los cuales, en conjunto, refieren al 25,7 % del tiempo anual (Huerta,2018).

De igual manera, pero con una frecuencia igual o inferior al 10,1 %, el recurso eólico da lugar por el Sureste (SE), el Oeste (W), el Noroeste (NW) y por el Norte (N), que, en conjunto, se presentan el 22,8 % del tiempo anual. El 18,3 % de frecuencias restantes se manifiestan en calmas a lo largo del año (Huerta, 2018).

Es importante resaltar el origen de los vientos reinantes, con una velocidad promedio anual de 3,4 m/seg resulta en el SW, orientación de donde, coincidentemente, provienen los vientos dominantes anuales (los de mayor frecuencia: 19,3 %) (Huerta, 2018).

Con la rosa de los vientos de manera octogonal que se observa en (*Figura 33*) se puede ver que durante el año el viento proviene de distintas direcciones, sin embargo, se origina con mayor frecuencia del SW con asiduidades constantes que van de 15,8 % (en marzo) a 28,7 % (en agosto) y velocidades variadas de entre 3,1 m/s (en diciembre) y 4,1 m/s (en abril) procedente del W en ambos casos.

MESES	PARÁMETRO	UNIDAD	DIRECCIONES								CALMAS (%)	PROMED.	MÁXIMA
			N	NE	E	SE	S	SW	W	NW			
ENERO	Frecuencia	%	2.7	19.6	20.8	7.1	9.2	13.1	8.9	5.9	12.7	10.9	20.8
	Velocidad	m/s	2.2	2.7	2.8	2.0	2.9	3.2	3.2	2.7			
FEBRERO	Frecuencia	%	3.1	17.1	16.5	6.0	9.1	14.2	8.8	5.6	19.7	10.0	17.1
	Velocidad	m/s	2.0	2.7	2.9	2.1	3.2	3.4	3.5	2.6			
MARZO	Frecuencia	%	3.4	15.7	14.6	5.9	11.7	15.8	11.4	5.8	15.8	10.5	15.8
	Velocidad	m/s	2.0	2.5	2.7	2.1	3.2	3.5	3.7	2.7			
ABRIL	Frecuencia	%	3.7	13.4	11.6	4.4	10.9	19.5	13.6	6.4	16.4	10.4	19.5
	Velocidad	m/s	2.2	2.4	2.5	2.0	3.2	3.8	4.1	2.9			
MAYO	Frecuencia	%	3.0	10.7	9.0	4.3	12.6	25.1	11.6	4.1	19.6	10.1	25.1
	Velocidad	m/s	2.0	2.3	2.4	2.0	3.1	3.7	3.6	2.5			
JUNIO	Frecuencia	%	3.1	8.0	6.7	4.0	17.7	27.6	8.1	3.5	21.2	9.8	27.6
	Velocidad	m/s	1.5	1.8	1.8	1.6	3.1	3.5	2.5	1.9			
JULIO	Frecuencia	%	1.3	5.8	5.0	2.1	24.2	26.3	8.9	2.0	24.4	9.4	26.3
	Velocidad	m/s	1.4	1.7	1.6	1.5	3.1	3.3	2.3	1.4			
AGOSTO	Frecuencia	%	1.7	8.8	6.2	2.9	24.9	28.7	9.2	2.2	15.4	10.6	28.7
	Velocidad	m/s	1.3	1.8	1.8	1.5	3.2	3.3	2.0	1.4			
SEPTIEMBRE	Frecuencia	%	2.1	11.1	9.5	3.1	16.1	21.8	11.4	3.4	21.5	9.8	21.8
	Velocidad	m/s	1.7	1.9	1.9	1.6	3.0	3.2	2.7	1.8			
OCTUBRE	Frecuencia	%	2.6	13.1	13.4	6.1	11.7	16.5	10.8	6.6	19.2	10.1	16.5
	Velocidad	m/s	1.8	2.3	2.3	2.0	3.0	3.4	3.4	2.5			
NOVIEMBRE	Frecuencia	%	2.5	17.2	18.2	7.8	9.0	13.3	10.2	6.0	15.9	10.5	18.2
	Velocidad	m/s	1.8	2.5	2.7	2.0	2.8	3.2	3.3	2.5			
DICIEMBRE	Frecuencia	%	2.7	16.7	20.2	7.9	7.9	10.4	8.9	7.1	18.3	10.2	20.2
	Velocidad	m/s	2.4	2.7	2.9	2.1	2.8	2.9	3.1	2.6			
ANUAL	Frecuencia	%	2.7	13.1	12.6	5.1	13.8	19.3	10.1	4.9	18.3	10.2	19.3
	Velocidad	m/s	1.8	2.3	2.4	1.9	3.0	3.4	3.1	2.3			

VIENTO	UNIDAD	MESES												ANUAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
DOMINANTE		E	NE	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	E	E	SW
REINANTE		W	W	W	W	SW	SW	SW	SW	SW	SW	W	W	SW
MÁXIMA	m/s	3.2	3.5	3.7	4.1	3.7	3.5	3.3	3.3	3.2	3.4	3.3	3.1	3.4
PROMED.	m/s	2.7	2.8	2.8	2.9	2.7	2.2	2.0	2.0	2.2	2.6	2.6	2.7	2.5
CALMAS	(%)	12.7	19.7	15.8	16.4	19.6	21.2	24.4	15.4	21.5	19.2	15.9	18.3	18.3

Figura 31: Desglose detallado del comportamiento del viento

Fuente: Tomado de “Un reflejo del análisis climático, y bioclimático de Ensenada B.C. “, por Huerta, 2018

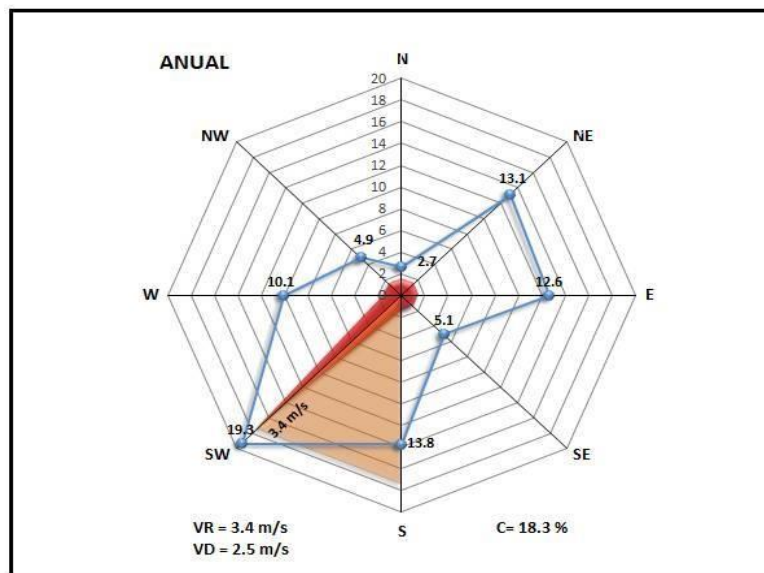


Figura 32: Rosa anual de los vientos dominantes

Fuente: Tomado de “Un reflejo del análisis climático, y bioclimático de Ensenada B.C. “, por Huerta, 2018

El comportamiento mensual del viento a lo largo del año parece mostrar similitudes en cuanto a direcciones pares se refiere en sentido a las manecillas del reloj, por ejemplo:

- Los vientos provenientes del E y del SE dan lugar a que, en prácticamente todo el año, con un ascenso y descenso constante que varía, en promedio, entre el 12,6 % y el 5,1 % de frecuencia excepto durante julio
- El viento originado del S y del SW demuestra un comportamiento similar, con velocidades promedio de 2,5 m/s.
- El flujo eólico mensual del W y del NW tiende, a un comportamiento similar a lo largo del año. Durante invierno y primavera el viento da lugar a una frecuencia mensual de 7,0 % en promedio con velocidades de hasta 3,7 m/s, mientras que en verano y otoño su presencia tiende a disminuir gradualmente hasta una frecuencia mensual 2,9 % y velocidades no mayores a 2,6 m/s.

De esta manera, es posible definir que en el rango SW-W se presenta la mayor cantidad de frecuencias al año. Durante septiembre, la presencia del viento da lugar hasta 28,7 % de frecuencias por el SW; asimismo, durante agosto se intensifica por el S con frecuencias hasta de 24,9 %, durante enero por el E con frecuencias de hasta 20,8 % (**Figura 31**).

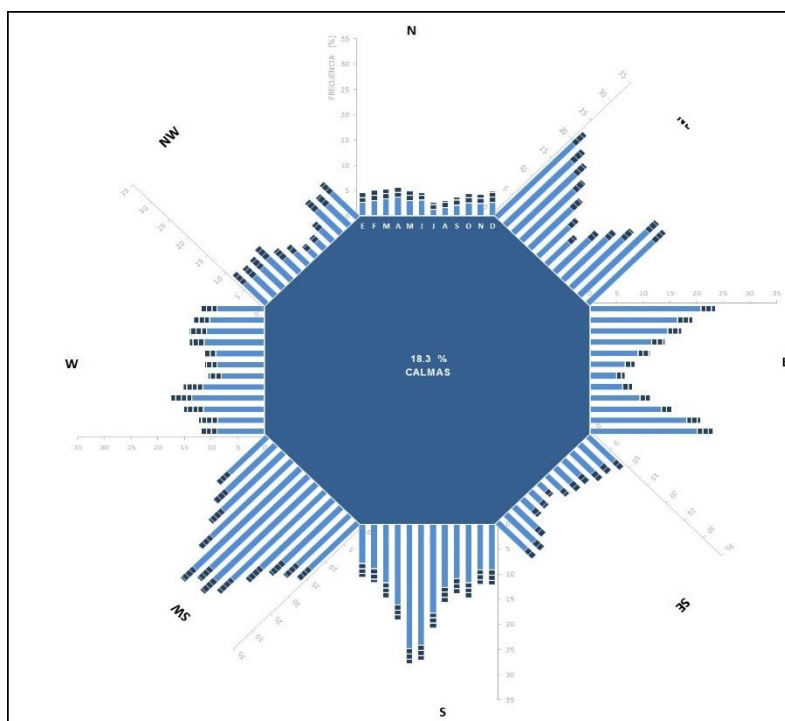


Figura 33: Rosa de los vientos octogonal

Fuente: Tomado de “Un reflejo del análisis climático, y bioclimático de Ensenada B.C. “, por Huerta, 2018

Al analizar las rosas de viento mensuales se puede apreciar la amplia variedad de direcciones e intensidades en que se presenta el viento, en promedio, a lo largo del año; por ejemplo:

- Enero: Los vientos dominantes provienen principalmente del E, con una frecuencia mensual de 20,8 %, aunque existe la posibilidad de que el rango en donde éstos se originan se amplíe NE-E con una frecuencia total mensual de 40,4 %. El resto de frecuencias, según la dirección, se ponderan por debajo del 10,0 %, excepto por las del SW que se presentan con 13,1 puntos porcentuales; Los vientos reinantes tienen origen en el W con una velocidad promedio de 3,2 m/s, mientras que la promedio en el resto de direcciones es de 2,7 m/s (*Figura 34*; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Agosto: Los vientos dominantes provienen principalmente del SW con una frecuencia mensual de 28,7 %, aunque existe la posibilidad de que el rango en donde éstos se originan se amplíe S-SW con una frecuencia total mensual de 53,6 %. Los vientos reinantes tienen origen en el SW con una velocidad promedio de 3,3 m/s, mientras que la promedio en el resto de direcciones es de 2,0 m/s (*Figura 35*).

- Septiembre: Los vientos dominantes provienen principalmente del SW con una frecuencia mensual de 21,8 %, no obstante, por el significativo valor porcentual de las frecuencias del S (16,1 %) el rango S-SW puede considerarse como el dominante para este periodo con una frecuencia total mensual de 37,9. Los vientos reinantes tienen origen en el SW con una velocidad promedio de 3,2 m/s, mientras que la promedio en el resto de direcciones es de 2,2 m/s (*Figura 35*).

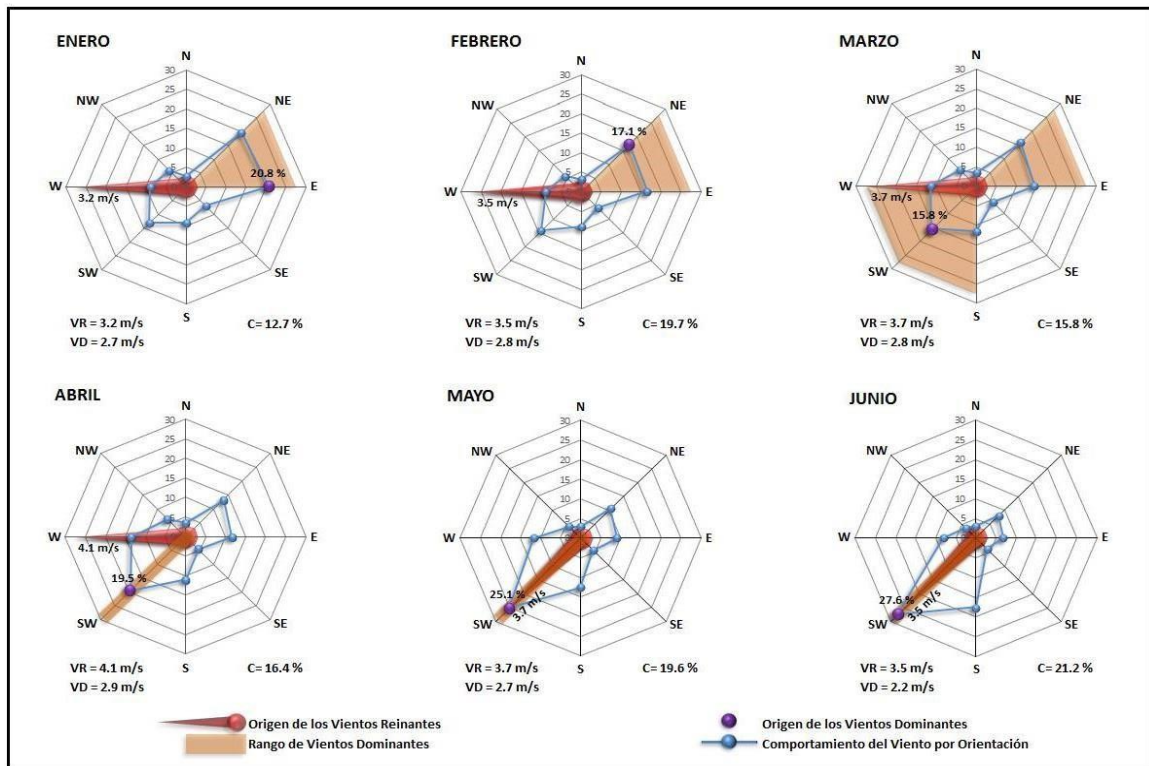


Figura 34: Rosas mensuales de viento (enero- junio)

Fuente: Tomado de “Un reflejo del análisis climático, y bioclimático de Ensenada B.C.”, por Huerta, 2018

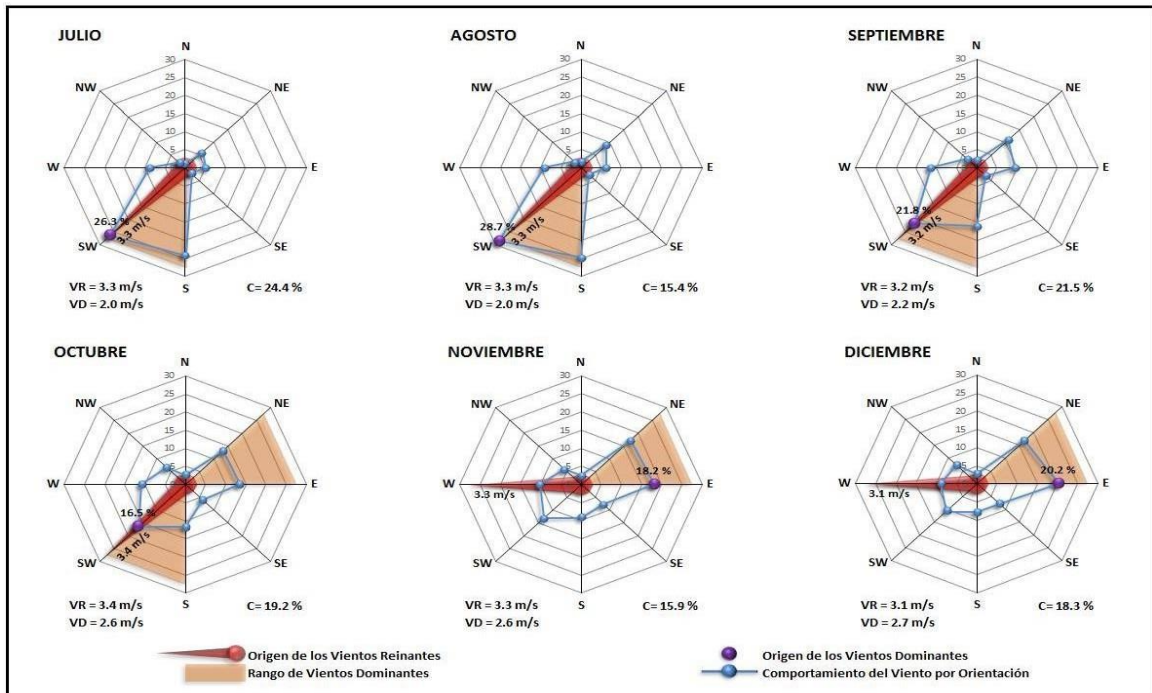


Figura 35: Rosas mensuales de viento (junio-diciembre)

Fuente: Tomado de “Un reflejo del análisis climático, y bioclimático de Ensenada B.C.”, por Huerta, 2018

La velocidad media del viento (promedio anual) para la ciudad de Ensenada es de 2,5 m/s; de acuerdo con la escala de Beaufort. Según la orientación que se analice específicamente, esta cifra oscila entre 1,8 m/s y 3,4 m/s; de esta manera, de acuerdo con la (Figura 36).

- N: La velocidad promedio del viento es de 1,8 m/s, 0,8 m/s. NE: La velocidad promedio es de 2,3m/s, 1,3 m/. E: La velocidad promedio es de 2,4m/s, 1,4 m/s todas por encima de la aceptable para interiores.
- SE: La velocidad promedio del viento es de 1,9 m/s, 0,9 m/s. S: La velocidad promedio del viento es de 3,0 m/s, 2,0 m/s. SW: La velocidad promedio del viento es de 3,4 m/s, 2,4 m/s todas por encima de la aceptable para interiores.
- W: La velocidad promedio del viento es de 3,1 m/s, 2,1 m/s. NW: La velocidad promedio del viento es de 2,3 m/s, 1,3 m/s todas por encima de la aceptable para interiores.

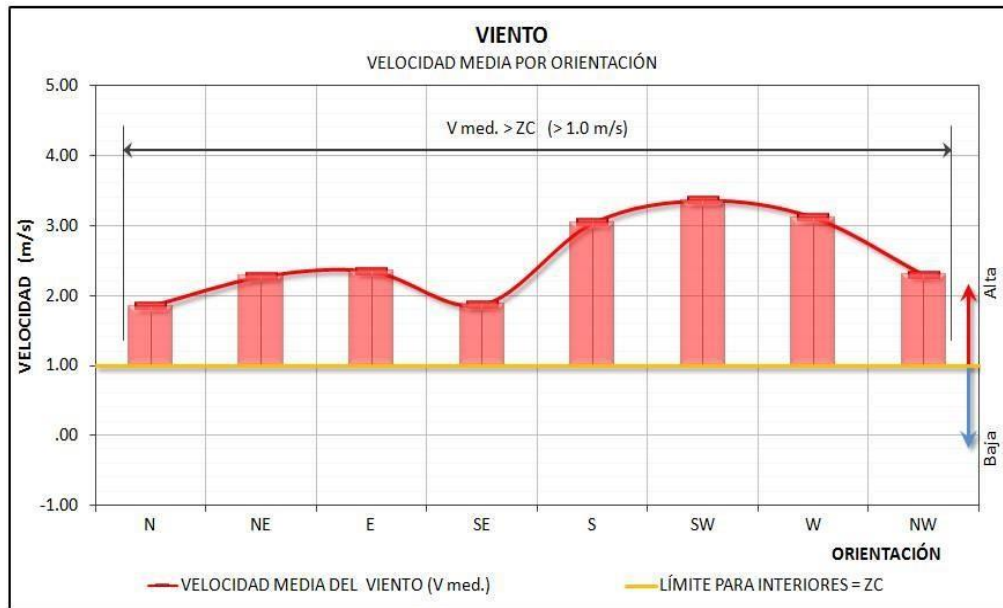


Figura 36: Velocidad media del viento

Fuente: Tomado de “Un reflejo del análisis climático, y bioclimático de Ensenada B.C. “, por Huerta, 2018

3.3 Experimentación

Gran parte del centro y norte de la Ciudad de Ensenada se encuentran dentro de un suelo de tipo Regosol, siendo este el que se encuentra en gran extensión del territorio de la ciudad por lo que la selección de un sitio para experimentar con un sistema de enfriamiento conductivo se sitúe en un suelo con Regosol (**Figura 23**).

El área de experimentación se encuentra ubicada en U.A.B.C., Carretera Ensenada-Tijuana No. 3917, Fraccionamiento Playitas, U.A.B.C., 22860 Ensenada, B.C. en donde se localizaron dos posibles zonas para trabajar, de las cuales solo una será seleccionada de acuerdo a sus características de asoleamiento y circulación de viento (**Figura 37**).

La primera zona de estudio se encuentra ubicada en el area verde frente al Instituto de Investigacion de Oceanologias, UABC Sauzal (**Figura 38**).

La segunda zona potencial para experimentación, se encuentra ubicada en el área verde frente a la explanada de la Facultad de Ciencias Marinas, UABC Sauzal (**Figura 39**).

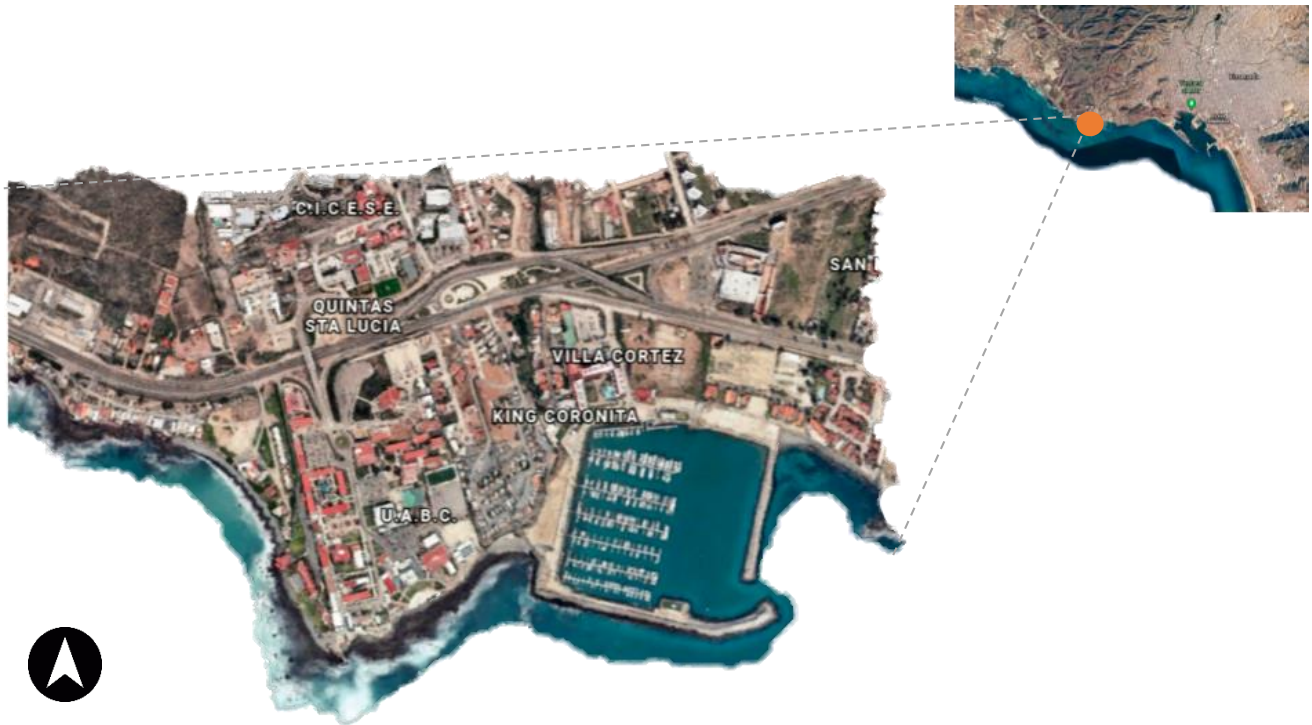


Figura 37: Ubicación área de experimentación

Fuente: Elaborado con datos de Google earth



Figura 38: Ubicación zona I, experimentación

Fuente: Google earth



Figura 39: Ubicación zona II, experimentación

Fuente: Google earth

A modo de simulación de las áreas de estudio y su análisis se usó un modelado 3D (Sketchup) en el cual se colocaron los volúmenes existentes más relevantes para la zona ya que esta se rodea de varios edificios, sin embargo, a manera de mayor visibilidad se optó por solo dejar los más relevantes para la zona a evaluar para estudiar la proyección de las sombras. El área a evaluar fue georreferenciada para una mayor precisión de su ubicación con latitud y longitud (*Figura 40*).

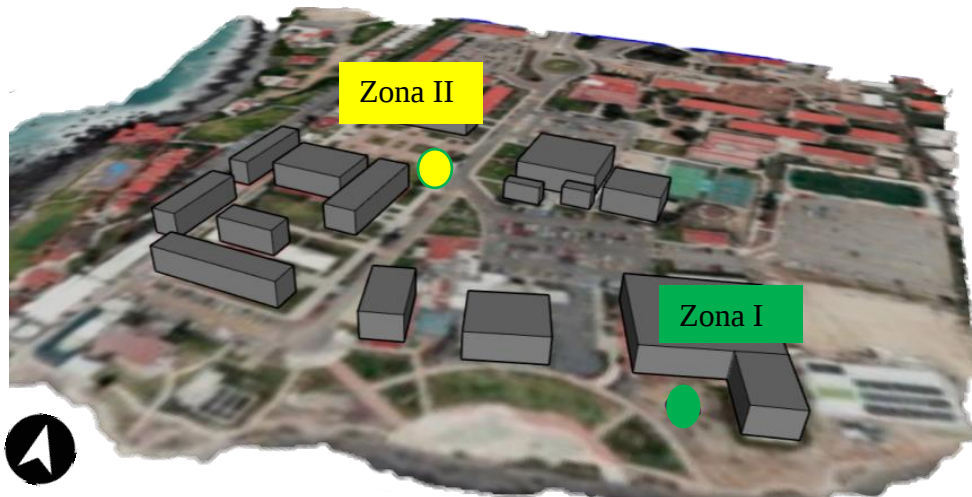


Figura 40: Ubicación zonas de experimentación

Fuente: Google earth junto con la ayuda de sketchup

Se lleva a cabo un análisis de la proyección de sombras de los meses mayo y diciembre durante la mañana, medio día, y atardecer, esto para determinar el área de estudio apto para la experimentación.

3.3.1 Proyección de sombras en enero

La proyección de sombras por la mañana específicamente 8:00 h cubre la superficie de la Zona I en un 75%, mientras que en la Zona II no se muestra ninguna proyección de sombras por ende la zona se encuentra libre de obstrucción solar (*Figura 41*).



Figura 41: Enero, 8:00h

Fuente: Sketchup

A medio día el sol está en el punto más alto de su recorrido por lo tanto se puede observar que en ambas zonas tanto I y II se encuentran sin obstrucción solar, por ende, los rayos del sol pegan en las zonas sin problema (*Figura 42*).

Al atardecer específicamente a las 16:00 h las sombras que se proyectan obstruyen ambas zonas tanto la I como la II, por ende, ambas zonas tienen obstrucción de sombras en el horario mencionado (*Figura 43*).



Figura 42: Enero, 12:00 h

Fuente: Sketchup



Figura 43: Enero, 16:00h

Fuente: Sketchup

3.3.2 Proyección de sombras en septiembre

La proyección de sombras por la mañana específicamente a las 8:00 h se presentan hacia el Oeste por lo que se puede observar como la superficie de la Zona II está cubierta en un 20% por sombras, mientras que en la Zona I se proyectan sombras en más de un 40 % (*Figura 44*).

A medio día el sol se encuentra en el punto más alto para este mes, instante en que la posición del Sol en el cielo se encuentra a la mayor distancia angular negativa del ecuador celeste, por lo que se observa una mínima proyección de sombra en la zona I y en la zona II no se encuentra alguna obstrucción solar (*Figura 45*).

Durante el atardecer las sombras se proyectan al este y debido a las edificaciones existentes y al ángulo del sol en esta época del año las sombras se proyectan más en la zona II con un 75%, mientras que en la zona I se encuentra completamente libre de sombras (*Figura 46*).



Figura 44: Septiembre, 8:00 h

Fuente: Sketchup



Figura 45: Septiembre, 12:00h

Fuente: Sketchup



Figura 46: Septiembre, 16:00h

Fuente: Sketchup

3.3.3 Análisis por incidencia de vientos

En la zona de California entre las localidades de Indio y Phoenix, extendiéndose hacia el sur hasta San Felipe en Baja California, México, se crea un área de baja presión que produce un gradiente que mueve el viento de las zonas aledañas en alta presión en dirección Este desde el Océano Pacífico al área de Tijuana y Ensenada (**Figura 47**) (**Figura 48**).

Los vientos en la ciudad de Ensenada B.C predominan de Oeste a Este, por ende, esta dirección en ambas zonas de estudio no se ve afectado por los vientos debido a que a su alrededor se encuentran algunos edificios o árboles, los cuales no representan un problema de obstrucción para el libre flujo de viento en ambas zonas.

Específicamente en la zona 1, se rodea hacia el lado este con algunos edificios de investigación de la Universidad UABC, por lo cual estos actúan como protección de los vientos hacia la zona 1 (**Figura 49**).

En la zona 2, igual que la zona 1 al lado este se encuentra el gimnasio con una altura de aproximadamente 5 metros , además de también contar con árboles que se utilizan como una obstrucción de los vientos, por ende la zona 2 tampoco se encuentra en alguna circunstancia de cuidado en cuanto a los vientos (**Figura 50**).

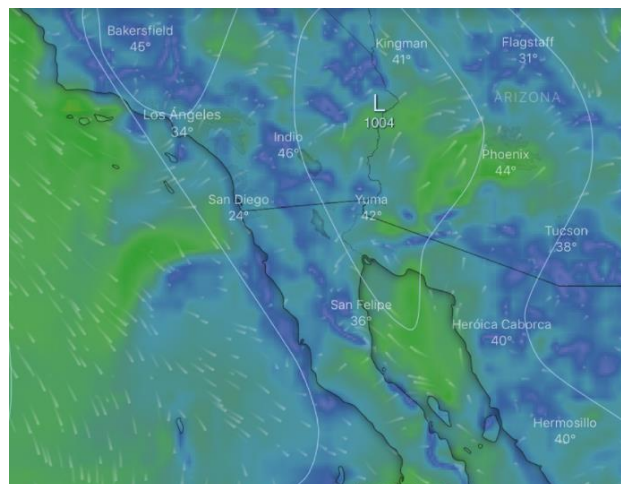


Figura 47: Gradiente de presión en área de California

Fuente: Windy.com

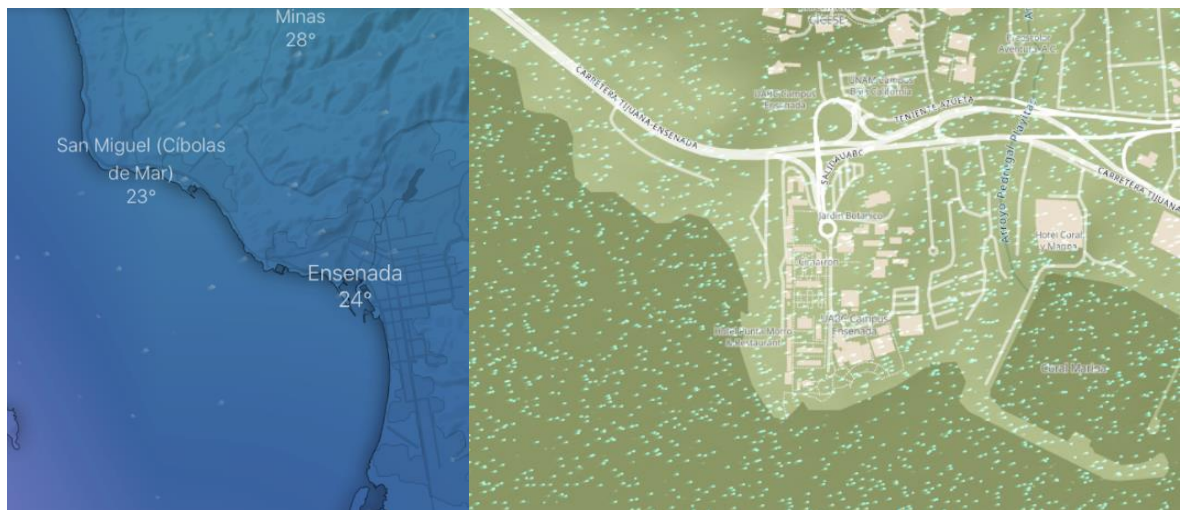


Figura 48: Vientos en la ciudad Ensenada

Fuente: Windy.com

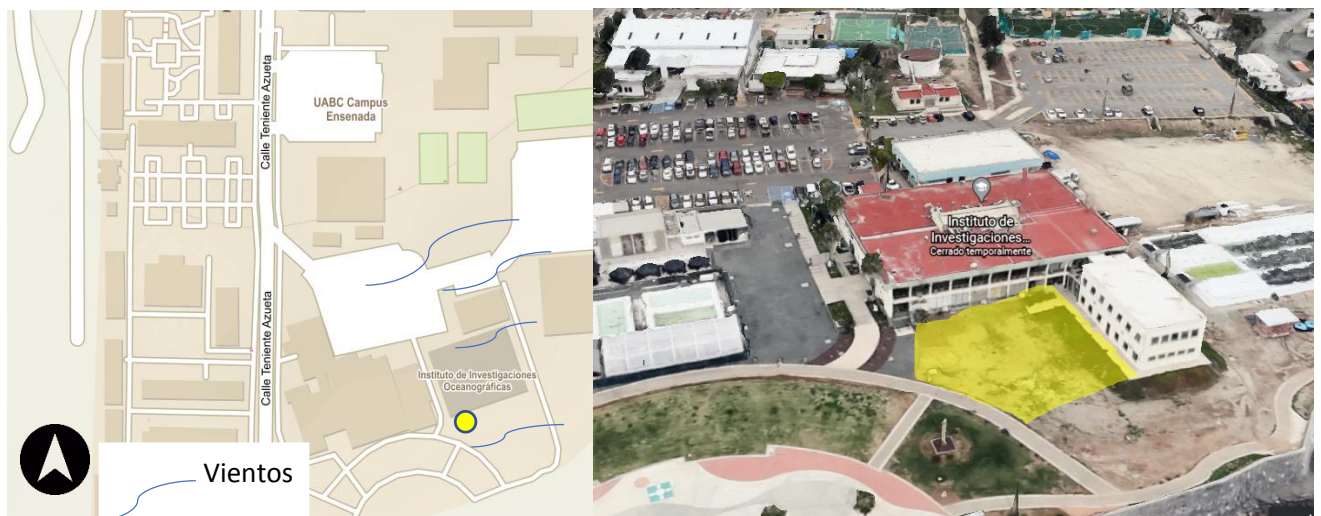


Figura 49: Zona de experimentación 1, vientos

Fuente: Windy.com

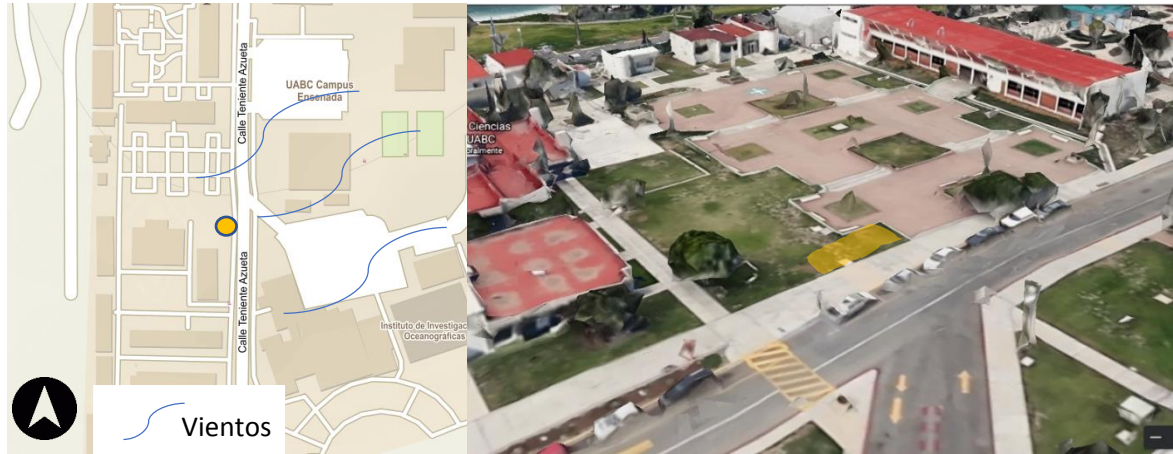


Figura 50: Zona de experimentación 2, vientos

Fuente: Windy.com

3.3 Conclusiones

En conclusión, la zona II de estudio era la más adecuada para la experimentación por contar con una mayor exposición a la radiación solar y por ende al almacenamiento de la energía procedente de este, y en conjunto con las propiedades del suelo de regosol de la zona, resultaron más adecuadas, definida por la comprobación apreciada en el estudio de asoleamiento en los meses de estudio (Enero , Septiembre) en los distintos horarios propuestos (8:00 , 12:00 y 16:00 hrs) en la zona II se podía observar mediante las distintas herramientas auxiliares (Twinmotion)que la zona ya mencionada era a la que más incidencia solar recibe durante los meses y horarios propuestos , por ende a manera que la experimentación necesita estar lo más despejada de sombras o de obstrucción solar, la convirtieron en la zona adecuada para llevar a cabo la experimentación, además la afectación de sombras por los edificios alrededor eran menores por lo que no eran un obstáculo de incidencia solar en el área lo cual es favorable para el almacenamiento energético de suelo por la mayor incidencia solar, así como también se encontraba una mejor circulación de viento, lo cual unido con la incidencia solar hacían de la zona de estudio la más favorable para llevar a cabo la experimentación adecuadamente. En cuanto al análisis de vientos se concluyó con que los vientos que no afectan a las zonas de estudio debido a que estas zonas se rodean de algunos edificios o vegetación lo cual no genera una obstrucción de los vientos, logrando de esta manera una circulación de vientos favorable.

4. CAPÍTULO IV. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para llevar a cabo la experimentación, se utilizaron distintos materiales los cuales ayudaron a tener un procedimiento exitoso, dentro de los materiales utilizados está la data logger, sonda, pantalla de Stevenson, anemómetro, cámara fotográfica, cámara de imagen térmica.

El primer paso a realizar fue calibrar y comprobar que todo se encontrara en buenas condiciones como las lecturas de los aparatos. El equipo de medición utilizado se colocó dentro de la “Pantalla Stevenson” la cual es una protección especial que inhibe la calefacción directa por los rayos del sol, permitiendo al mismo tiempo que el aire circule al interior de la misma, esta fue colocada en el exterior cerca de los ductos que sobresalen de la tierra como se puede observar en la imagen (Figura 51).



Figura 51: Pantalla Stevenson

Fuente: Elaboración propia

Se utilizó un “data logger” marca HOBO, modelo U12 (Tabla 12); para monitorear la temperatura de bulbo seco y humedad relativa del aire ambiente, mientras que las sondas (cables termopar) se colocaron uno bajo tierra para tomar un registro de la temperatura que esta tenía a la profundidad en la que se encuentran los ductos y otro par de sonda se colocaron justo en la entrada y salida de los ductos, esto para tomar un registro de la temperatura a la que ingresaba el aire por los ductos para de esta manera poder tener registro del comportamiento y desempeño del intercambio de calor entre la tierra y el aire en los ductos (Figura 52, Figura 53).

Tabla 12: Características data logger

Características	
Data logger	Temperatura de: -20° to 70°C (-4° to 158°F), resolución de Temperatura: 0.03°C at 25°C (0.05°F at 77°F), dimensiones: 58 x 74 x 22 mm (2.3 x 2.9 x 0.9 inches), marca: HOBO U12 Temp/RH/2 External Data Logger.

Fuente: Elaboración propia

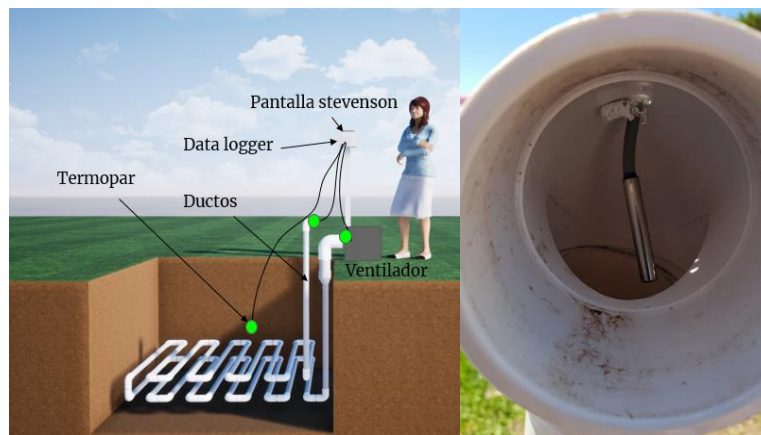


Figura 52: Ubicación de data logger

Fuente: Elaboración propia



Figura 53: Data logger

Fuente: Elaboración propia

Se utilizó una cámara fotográfica para llevar un registro del proceso experimental para su documentación e ilustración de la colocación de los aparatos utilizados, así como del registro fotográfico de las pruebas y procedimientos del experimento (*Figura 54*).



Figura 54: Cámara fotográfica

Fuente: Google

- I. Diseño y pre dimensionamiento de un sistema pasivo de enfriamiento por conducción de un modelo de lazo abierto con dimensiones óptimas para un desempeño eficiente para lograr la estabilización de la temperatura del aire en la Ciudad de Ensenada.

Una vez identificado la zona de experimentación idónea, se fabricó un sistema pasivo de enfriamiento por conducción de tipo indirecto en la antes mencionada zona II, tomando en cuenta sus componentes básicos (ductos de PVC, extractor de aire, equipos de mediciones y pantalla de Stevenson para resguardo de los mismos), así como las herramientas necesarias para una correcta planeación.

Se dimensionó el sistema de ductos a través de una revisión de literatura referente al cálculo empleado para el diseño y caracterización de un sistema pasivo de enfriamiento por conducción para la concepción de un modelo de lazo abierto con dimensiones óptimas para un desempeño eficiente y así lograr la estabilización de la temperatura del aire en la Ciudad de Ensenada.

Parte importante del diseño de un intercambiador de calor tierra-aire en esta investigación se basó en los resultados obtenidos en mediciones *in situ* y los parámetros higrotérmicos registrados para estimar la transferencia de calor y humedad. La interacción de fenómenos físicos presentes en los ductos, como la misma transferencia de calor y humedad en un proceso simultáneo, se dividieron y consideraron como elementos aislados para su correcto análisis.

Con base en las recomendaciones propuestas por diferentes autores, se desarrolló el pre dimensionamiento del sistema intercambiadores de calor tierra-aire. Se consideró el flujo constante del aire en ductos y la temperatura sinusoidal de cada día, cuya información de referencia fue obtenida de la Estación Meteorológica Automática (EMA) del sitio más cercano al área de pruebas, ubicada en la Presa Emilio López Zamora al Norte de Ensenada, Baja California.

Las principales características del sistema intercambiador usadas en el pre dimensionamiento y diseño se mencionan en el siguiente orden prioritario:

Geometría

- Largo del tubo
- Diámetro del tubo

Aire

- Flujo continuo

Tierra

- Conductividad de la tierra
- Capacidad calorífica

Los ductos utilizados en la fabricación del enfriamiento pasivo, fueron de PVC 2" con una longitud total de 34,2 metros en una excavación de 2 por 2 metros dispuestos en arreglo de serpentín en dos niveles de ductos para lograr una mayor una extensión de este.

Además de contemplar la tubería también se utilizaron distintos accesorios, los cuales estos permitieron que los ductos pudiesen ser unidos y de esta manera se pudiera tener un mayor funcionamiento de los mismos. Se utilizó un codo de 90° de 4", reducción de 4" a 2" para conectar el extractor de aire con las especificaciones calculadas, con el resto de la tubería bajo tierra (*Figura 55*).

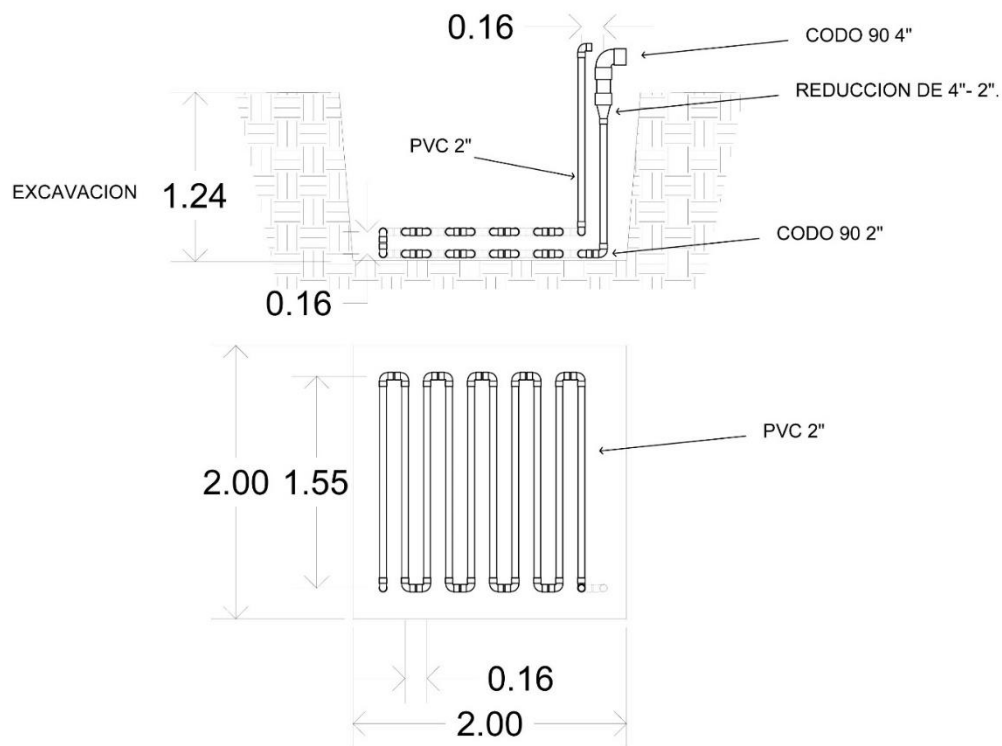


Figura 55: Ductos en planta y corte con profundidad de 1.24 m, longitud total de 34.2 m

Fuente: Elaboración propia.

La excavación se lleva a cabo en la zona II (**Figura 40**) con dimensiones de 2 por 2 m con una profundidad de 1.24m donde se dispone el serpentín inferior, mientras que el serpentín superior quedó a 1.08 m (**Figura 56**), esto se lleva a cabo a la profundidad ya mencionada debido a que el suelo y las propiedades que contiene a cierta profundidad son las óptimas para el aprovechamiento del mismo, claro este aprovechamiento es posible debido a que los rayos del sol pegan completamente en la zona trabajada, por ende es beneficioso el llevar a cabo en la zona la excavación, además se aprovecha de manera pasiva y natural (**Figura 57**).



Figura 56: Excavación, zona experimentación

Fuente: Elaboración propia



Figura 57: Colocación de ductos

Fuente: Elaboración propia

También como parte de los materiales que se utilizó esta la pantalla de Stevenson la cual es una caja con persianas extendidas con un espacio de 35 mm que permite la circulación de viento y resguarda los equipos de medición de la radiación solar directa. Esta pantalla se recomienda elevar 1.20m para resguardar el espacio de la influencia del suelo. Para ello la pantalla fue pintada de blanco para reflejar la radiación de la luz solar que influye en las lecturas de temperatura (*Figura 58*).

Se dispusieron data loggers al interior de la pantalla para recabar lecturas de la temperatura y humedad relativa ambiente, así como de tres sondas; una va directamente bajo tierra a 1.24 m para recabar la temperatura de la tierra a la profundidad a la que se encuentran los ductos, otra sonda más se colocó a la entrada del ducto donde se introduce el aire al sistema de ductos para obtener registro de la temperatura (*Figura 59*) y finalmente otra última sonda a la salida del ducto para obtener la temperatura del aire a la salida del sistema de ductos (*Figura 60*).

Para el correcto funcionamiento del sistema de enfriamiento conductivo indirecto, se debe forzar el flujo del aire a través de los ductos por medio de un ventilador mecánico de bajo consumo (*Figura 61*).



Figura 58: Pantalla de Stevenson

Fuente: Elaboración propia



Figura 59: Sondas para registro de temperatura del aire

Fuente: Elaboración propia



Figura 60: Sonda temporal para salida de aire

Fuente: Elaboración propia

5. CAPÍTULO V. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA EXPERIMENTAL CON SISTEMA PASIVO

5.1 Prueba experimental con sistema pasivo de enfriamiento por conducción de tipo indirecto

Se evaluó el desempeño de un sistema intercambiador de calor tierra-aire en función de lo obtenido previamente a través del análisis climático, donde la temperatura media (T_{med}) anual es de 17.3 °C; la media del mes cálido es de 21.5 °C en agosto y la media del mes frío es de 13.9 °C en diciembre. Esto último nos refiere a los meses que presentan condiciones extremas de frío o calor, siendo estos los meses deseables para medir el desempeño del sistema de ductos enterrados para estabilizar la temperatura del aire (*Figura 57*).



Figura 61: Ventilador

Fuente: Elaboración propia

5.2 Prueba experimental en condiciones de sobrecalentamiento

Las pruebas de desempeño del sistema pasivo bajo condiciones de sobrecalentamiento se efectuaron del 01 al 10 de septiembre de 2019, donde se observa según los resultados arrojados el aire del exterior llegan a presentarse temperaturas máximas de 27.48 °C lo cual indica un ambiente cálido y que a través del paso por los ductos este mismo aire tiende a manejar una tasa de enfriamiento muy pequeña de tan solo una disminución de 0.29°C dando un resultado de 27.19 °C el cual no es suficientemente favorable para lograr un enfriamiento significativo dentro de un espacio, el resto de lecturas indican que el aire exterior lejos de ser enfriado, este se calienta una vez que pasa por los ductos enterrados, así mismo, la temperatura ambiente durante las tardes muestra sus valores máximos en comparación con la humedad relativa (HR) que disminuye cuando la temperatura incrementa, caso contrario en las mañanas con temperaturas mínimas y altos niveles de humedad donde alcanza valores de 96.07%, lo cual estos extremos tanto de temperatura como de la humedad podrían causar que el desempeño del sistema de enfriamiento disminuya debido a las altas variaciones de temperatura y humedad de un mismo día, teniendo menor impacto en la estabilización del aire ambiente en estos horarios (*Tabla 13*) (*Figura 62*).

Tabla 13: Prueba en condiciones de sobrecalentamiento

	T. AMBIENTE	HR	TEMPERATURA AIRE ENTRADA	TEMPERATURA AIRE SALIDA	TEMPERATURA TIERRA
MÁXIMA PROMEDIO	27.48	96.07	27.48	27.19	26.52
			22.59	26.66	26.08
MÍNIMA	22.59	83.07			
	18.18	54.01	18.18	25.99	25.91

Fuente: Elaboración propia



Figura 62: Sobrecaentamiento, funcionamiento de ductos, promedio

Fuente: Elaboración propia

La experimentación se realiza en un tiempo de 10 días durante las 24 hrs del día, periodo llevado a cabo del 1 al 10 de septiembre 2019, en dicho periodo se llevó la toma de lecturas de la temperatura ambiente, aire de entrada, aire de salida y temperatura a la cual se encuentra la tierra durante esos días, por lo cual se observa que la temperatura entrada mostro distintas variaciones en el transcurso de la prueba desde una mínima de 18.18°C hasta una máxima de 27.48°C con una variación de 9.30°C, el aire de salida tuvo una mínima de 25.99°C, hasta una máxima de 27.19, una variación de 1.2°C por lo cual en general en el periodo se encontró a una temperatura casi continua sin ninguna variación muy alta, la tierra se encontró desde una mínima de 25.91°C hasta una máxima de 26.52°C con una variación de 0.61°C lo cual se puede observar en la gráfica que los resultados debido a que en vez de obtener un enfriamiento o disminución de temperatura esta aumenta principalmente por las mañanas una vez que el aire pasa en los ductos y encontró que este sistema seria posiblemente provechoso utilizar durante las noches para mantener una regularidad de las temperaturas (**Figura 63**).

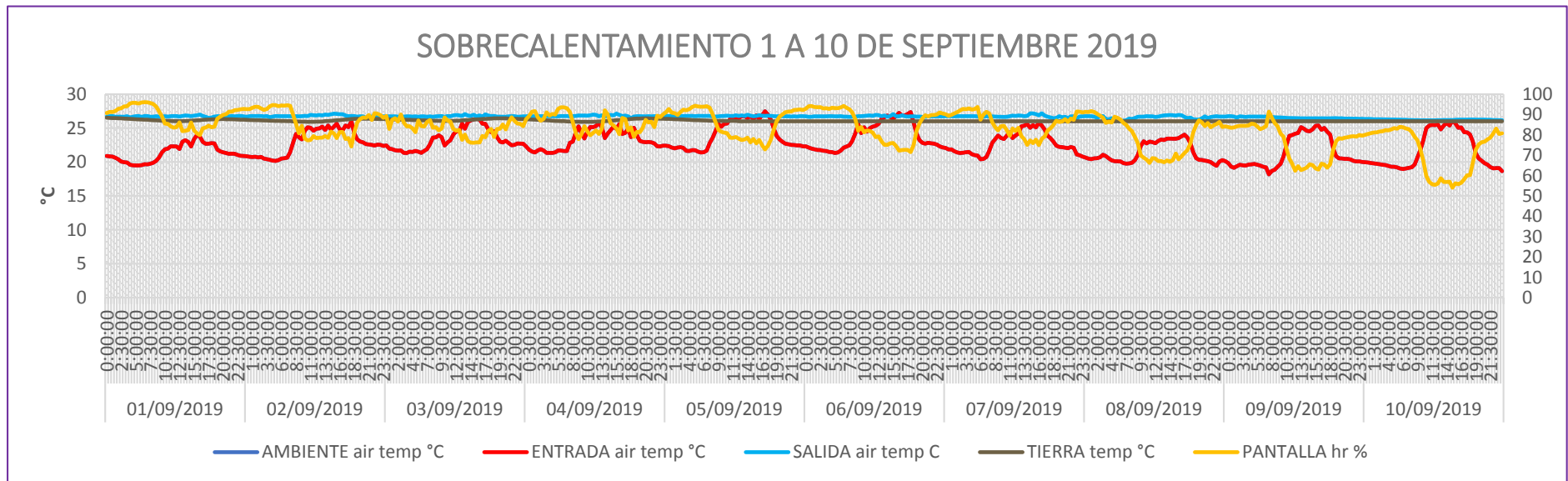


Figura 63: Resultados, septiembre, sobrecalentamiento

Fuente: Elaboración propia

Se muestra la relación entre las temperaturas más relevantes en la experimentación, cuyos datos registrados como resultado de la experimentación en sobrecalentamiento con la aplicación de la estrategia de ductos enterrados, muestran una variación de las temperaturas (aire de entrada, aire de salida y temperatura de la tierra) con respecto a los parámetros de confort estimados donde se establece un LSDC de 26.1°C donde la disminución de la temperatura por enfriamiento conductivo por intercambio térmico entre el aire de entrada y la tierra, no es suficiente para que el aire de salida sea completamente confortable si no al contrario resulta una temperatura más alta lo cual ocasiona un mayor calentamiento dentro de un espacio, ocasionado por el almacenamiento de calor del subsuelo a baja profundidad que en horas de la tarde dicha temperatura de la tierra se encuentra en un máximo de 26.52°C ocasionando que la tasa de enfriamiento del sistema no sea menor a la temperatura de la tierra (**Tabla 14**).

De igual manera se muestra de una manera más grafica la variación entre las temperaturas ya mencionadas, y como es que a pesar de la variación de la temperatura de aire de entrada, las propiedades de la tierra y su temperatura, no lograron una estabilidad del aire dentro de los parámetros de confort esperados, ocasionando que ese aire de entrada no lograra una disminución significativa de la temperatura del aire ambiente pero si logrando reducir la oscilación térmica, sin embargo se podría tener un mejor funcionamiento de este sistema durante las noches ya que la temperatura resultante es de 26.66 °C (**Figura 64**).

Tabla 14: Prueba de sobrecalentamiento

	<i>Confort</i>	<i>Temperatura aire entrada</i>	<i>Temperatura aire salida</i>	<i>Temperatura tierra</i>
Máxima	26.10	27.48	27.19	26.52
Promedio	24.10 (Tn)	22.59	26.66	26.08
Mínima	22.10	18.18	25.99	25.91

Fuente: Elaboración propia

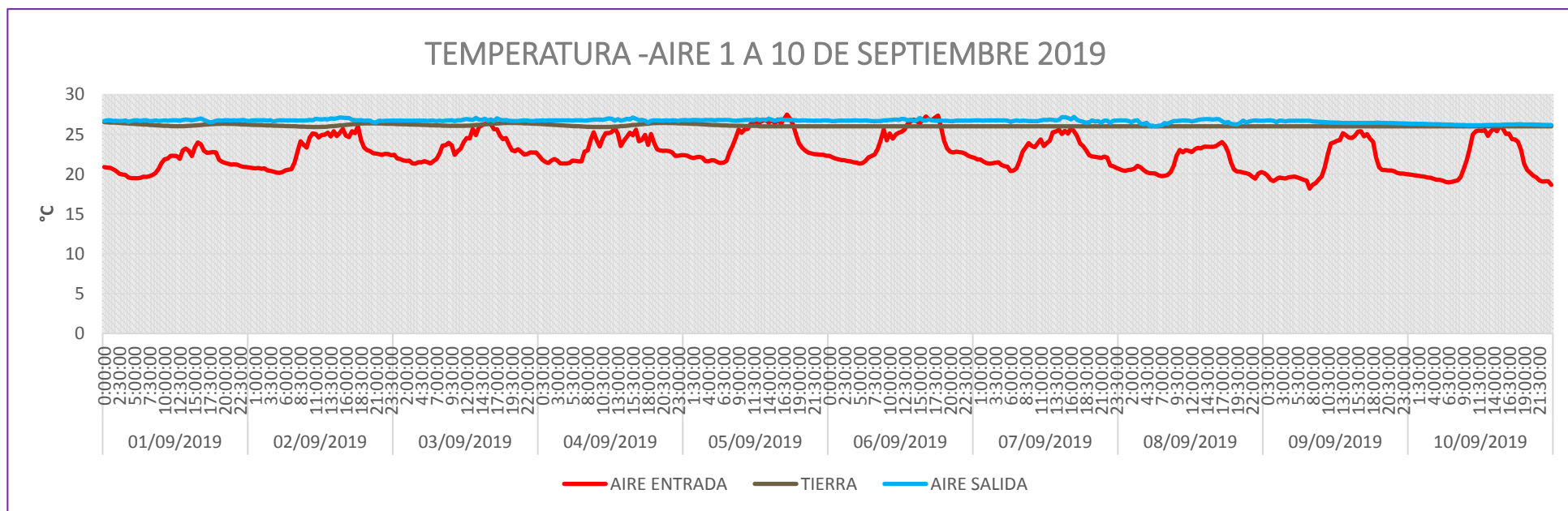


Figura 64: Resultado sobrecalentamiento

Fuente: Elaboración propia

5.3 Prueba experimental en condiciones de bajo calentamiento

Las pruebas de desempeño del sistema pasivo bajo condiciones de bajo calentamiento se efectuaron del 12 al 21 de enero de 2020. Las lecturas obtenidas permiten apreciar que la temperatura de la tierra, en promedio, se encuentra a 16.59°C , por lo que la estabilización de la temperatura del aire de entrada fue muy cercana a la de la tierra (*Tabla 15*).

El recorrido o proceso en el cual funcionaria la experimentación en el periodo de bajo calentamiento, en el cual el aire de entrada tiene una temperatura promedio de 13.07°C , una temperatura de la tierra de 16.59°C , con una temperatura de aire de salida de 15.70°C , que como se ilustra se obtiene una temperatura más cálida y estable (*Figura 65*).

En el periodo de experimentación ya mencionado se tuvo un registro de las temperaturas en el cual tomando en cuenta las temperaturas bajas por las mañanas y moderadas por las tardes, nos indica que en las mañanas la humedad se incrementa considerablemente llegando a sus más altos valores y que por las tardes esta llega a ser menor, dentro de valores confortables que al igual que el análisis de sobrecalentamiento, en este caso por bajas temperaturas y altos niveles de humedad pueden llegar a ser un factor que dificulte el adecuado calentamiento del aire en invierno de manera pasiva (*Tabla 15*) (*Figura 66*).



Figura 65: Prueba en bajo calentamiento

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15: Prueba en condiciones de bajo calentamiento

	<i>T. ambiente</i>	<i>HR</i>	<i>Temperatura aire entrada</i>	<i>Temperatura aire salida</i>	<i>Temperatura tierra</i>
<i>Máxima</i>	27.48	96.07	20.00	16.10	16.89
<i>Promedio</i>	22.59	83.07	13.07	15.70	16.59
<i>Mínima</i>	18.18	54.01	7.50	15.40	16.49

Fuente: Elaboración propia

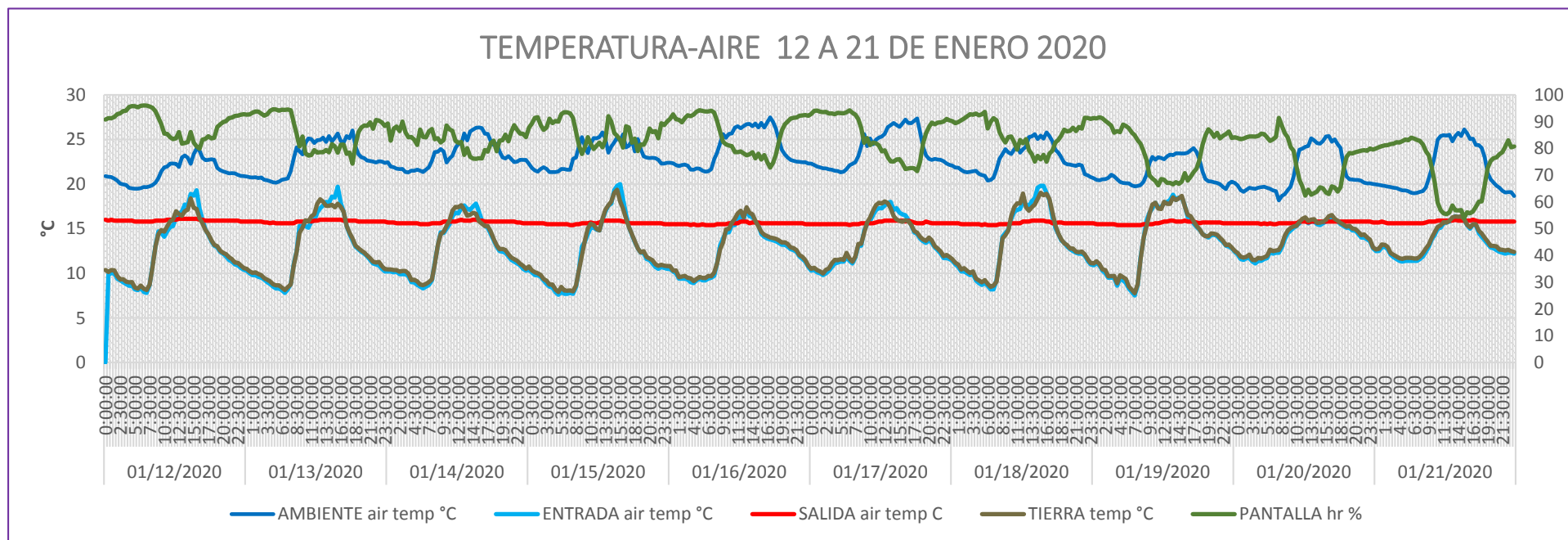


Figura 66: Resultados bajo calentamiento, enero

Fuente: Elaboración propia

Se analizaron tres temperaturas importantes en la experimentación (aire de entrada, aire de salida y temperatura de tierra) las cuales nos arrojan si la experimentación funciona en cuanto a la finalidad que se pretende en esta etapa que es el lograr un confort dentro del espacio mediante un calentamiento debido a que el mes de experimentación se encuentra en bajo calentamiento. En cuanto a las variaciones de las temperaturas (aire de entrada, aire de salida y temperatura de la tierra) estas según los resultados arrojados el aire de entrada mínima de 7.50°C y el de salida resulta con 15.40 °C a una temperatura de tierra de 16.49°C lo cual muestra el buen desempeño del sistema de ductos y este es más eficiente en invierno debido a que el calor almacenado en el suelo por radiación favorece el calentamiento del aire que será inyectado dentro de un espacio. Es notable el incremento de la temperatura en condiciones de bajo calentamiento pese a no ser suficiente para alcanzar el confort térmico del aire ambiente en condiciones de mínimas temperaturas, pero si logrando la estabilización de la temperatura del aire en el mes frío de enero. Cabe resaltar que este sistema es más eficiente para el calentamiento cuando los ductos se encuentran a poca profundidad. (*Tabla 16*). (*Figura 67*).

En cuanto al desempeño de la experimentación con los ductos, se puede ver que hubo una mejora en cuanto a temperaturas, que es lo que se buscaba tener como resultado.

Tabla 16: Prueba de bajo calentamiento

	<i>Confort</i>	<i>Temperatura aire entrada</i>	<i>Temperatura aire salida</i>	<i>Temperatura tierra</i>
<i>Máxima</i>	24.00	20.00	16.10	16.89
<i>Promedio</i>	22.00 (Tn)	13.07	15.70	16.59
<i>Mínima</i>	20.00	7.50	15.40	16.49

Fuente: Elaboración propia

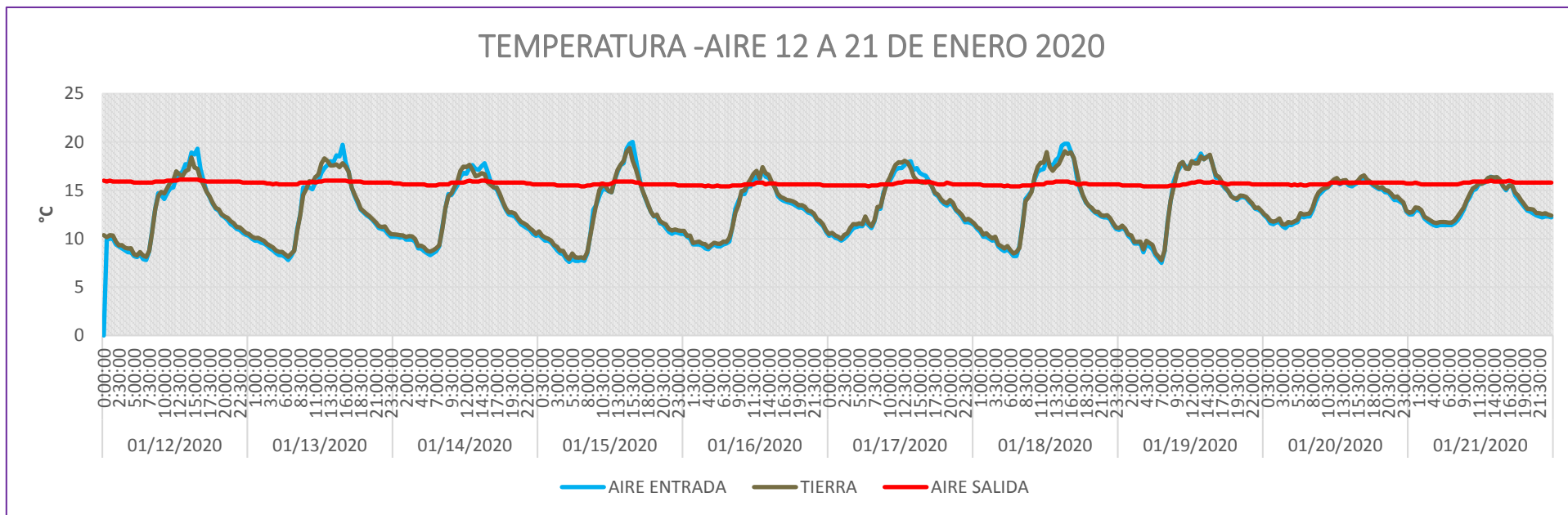


Figura 67: Resultados bajo calentamiento

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

El sistema pasivo de enfriamiento por conducción de tipo indirecto, evaluado en esta investigación permitió distinguir algunas variables en su diseño y construcción que fueron determinantes para mejorar su desempeño en la estabilización de la temperatura del aire, un indicador importante es la profundidad a la que se encuentra el sistema, y al ser ésta, una profundidad baja, la temperatura de la tierra está sujeta a las variaciones del ambiente, así como la incidencia diaria del Sol (ángulos solares), la nubosidad y todos los fenómenos naturales del sitio (nubosidad, brisa marina, precipitación pluvial, etc).

En general, el resultado pese a no ser favorable del todo, acorde a los resultados obtenidos en los dos meses de estudio enero como el mes representativo frío y septiembre como el mes representativo cálido del año, se puede concluir que este sistema pasivo puede ser aplicado en cualquier casa habitación o lugar que así lo necesite, tanto para reducir los requerimientos de calentamiento o enfriamiento del aire reduciendo significativamente el uso de sistemas convencionales de climatización artificial, derivando en una significativa reducción de dichos aparatos, acompañado de un diseño que tome en cuenta los parámetros climáticos que la región, haciendo más eficiente y viable el uso de este sistema pasivo que requiere de mucho menos energía que un aparato de aire acondicionado o abanico, aprovechando el potencial térmico del subsuelo.

Dicho lo anterior, el almacenamiento de calor en el subsuelo puede ser aprovechado de mejor manera por este tipo de sistemas a base de ductos enterrados cuando estos se encuentren lo suficientemente abajo para alcanzar una temperatura más estable cercana a la temperatura media anual, que en el caso de Ensenada rondaría los 17.3°C y que como pudo evidenciarse en este proyecto de investigación, la temperatura de la tierra determina en gran medida la temperatura que alcanzará la temperatura del aire de salida. En climas cálidos extremos en ciudades vecinas como el caso de Mexicali B.C. con una notable oscilación térmica, este tipo de sistemas de climatización pasiva pueden representar un beneficio significativo al inyectar un aire estabilizado cercano a la temperatura media anual del sitio durante todo el año, incluso en verano cuando en esta ciudad llega a alcanzar temperaturas superiores a los 40°C .

En cuanto al desempeño de este tipo de sistemas de climatización pasiva en regiones templadas con gran número de meses que presentan temperaturas bajas como en el caso de Ensenada, se recomendaría colocar los ductos a una profundidad mayor si se desea aumentar la eficiencia para enfriar, pero como bien se mencionó y se pudo constatar en el análisis climático, las condiciones de bajas temperaturas predominan, por lo que un sistema de ductos a baja profundidad como el que se probó, es más eficaz para calentar el aire para cubrir los requerimientos de climatización de la ciudad y se pudiera sugerir suspender su utilización durante el corto periodo de altas temperaturas o sólo de uso nocturno.

BIBLIOGRAFIA

- Archdaily (2006) Archdaily, Barcelona ,España, <https://www.archdaily.mx/mx/02-281618/casa-pomaret-pich-aguilera-architects>
- Belding y Hatch (1994)-Clima y confortabilidad humana- aspectos metodológicos
- Cheong, C. S., Im, D. S., Kim, J., & Kim, I. O. (1996). Lipase-catalyzed resolution of primary alcohol containing quaternary chiral carbon. *Biotechnology Letters*, 18(12), 1419–1422. <https://doi.org/10.1007/BF00129346>
- Corace, J. J. (2009). *Unidad V: Mecanismos De Transferencia Del Calor*. 1–30. [Http://Ing.Unne.Edu.Ar/Pub/Fisica2/U05.Pdf](http://Ing.Unne.Edu.Ar/Pub/Fisica2/U05.Pdf)
- Duarte, O., & Diaz, E. (2003). *Tecnologia De Tierras Y Aguas I*. 1–17.
- Durango (2019) Habitar lo inhabitable, formas de interpretar la arquitectura vernácula, http://oa.upm.es/53920/1/TFG_Durango_Callejas_Tania.pdf
- Edafologia, los suelos y la ecología, (s.f), <http://paot.org.mx/centro/cursospaot/materialCurso4/Caracteristicas.pdf>
- Frejo, J. A. (2012). Fundamentos del enfriamiento evaporativo para instalaciones avícolas. *Selecciones Avícolas*, 7–11. <https://seleccionesavicolas.com/pdf-files/2012/6/6719-fundamentos-del-enfriamiento-evaporativo-para-instalaciones-avicolas.pdf>
- Fuentes, V. (2004). *Clima y Arquitectura*. México: Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Unidad Azcapotzalco.
- Fuentes, V., & Figueroa, A. (1990). *Criterios de Adecuación Bioclimática en la Arquitectura*. México: Instituto Mexicano del Seguro Social
- García, E. (2004). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen [para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana]*. México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México

- Gaspar et al. ITEA (2014), Caracterización edáfica y distribución de ^{137}Cs en perfiles de suelos representativos de agro sistemas mediterráneos de montaña, file:///C:/Users/Acer/Desktop/ASHLY/TESIS/nuevo/referencias/(123-141)%20V21527.pdf
- Givoni, B. (1994), Passive and Low Energy Cooling of Buildings. Van Nostrand Reinhold.
- Gonzalez, E. y otros. (1986): Proyecto clima y arquitectura. Méjico. Ed. Gili. 3 vols.
- Hollmuller, P. & Lachal, B., (2005). Buried pipe systems with sensible and latent heat exchange validation of numerical simulation against analytical solution and long-term monitoring. Montreal, Escuela Politécnica de Montreal.
- Huerta, (2018), manual de diseño pasivo para el arquitecto: un reflejo del análisis climático y bioclimático de ensenada, baja california, file:///C:/Users/Acer/Desktop/ASHLY/TESIS/nuevo/Tesis_181002_FINAL.pdf
- INEGI (2018), Instituto Nacional de estadística y Geografía, <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/?fbclid=IwAR1K3prn6XKTFynz8CK1zZIr24T9lWpGI9gc2Cz0wTRDe7yq5CAM9EWabaI>
- Isbn, C., Gonz, E. M., Viii, C., Universitario, P., Sostenible, L. C., & Gonz, S. I. (2011). *Estudio Experimental Del Comportamiento Térmico De Sistemas Pasivos En Enfriamiento En Clima Cálido-Húmedo Sabrina Isabella González García.*
- Marb, A. (s.f.). ARQUITECTURA BIOCLIMATICA Pasivos. 1–38. https://www.academia.edu/15060862/SISTEMAS_PASIVOS.....1_SISTEMAS_PASIVOS
- Rehau, (2012). Intercambiador aire-tierra para ventilación controlada. [En línea] Available at: www.rehau.com [Último acceso: 03 04 2013].
- Ruiz Muñoz, P. J., (2009). Arquitectura Bioclimática y Construcción Sostenible. [En línea] Available at: <https://sites.google.com/site/pjruizarquitecturabioclimatica/home> [Último acceso: 25 04 2013].

Sistema meteorológico nacional (s.f),Gobierno de México,
<https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=bc>

SMN-CONAGUA (S.f) Normales climatológicas del periodo 1951-2010, Observatorio sinóptico de Ensenada, Servicio Meteorológico Nacional, Comisión Nacional del agua, Ensenada, B.C

UNAM (2013) Universidad Nacional Autónoma de México,<https://www.igg.unam.mx/geoigg/>