



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Arquitectura

NOMBRE DE LA TESIS

Desarrollo de sistema de iluminación natural de bajo costo, aplicable a interiores con deficiente entrada de luz en vivienda unifamiliar.

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestría en Arquitectura

Presenta:

Luz Angélica Mondragón del Ángel

Dirigido por:

Dr. Avatar Flores Gutiérrez

SINODALES

Dr. Avatar Flores Gutiérrez
Presidente

M.C. Verónica Leyva Picazo
Secretario

M.D.I. Anelisse Yerett Oliveri Rivera
Vocal

M.Arq. Guillermo Iván López Domínguez
Suplente

M.C Héctor Ortiz Monroy
Suplente

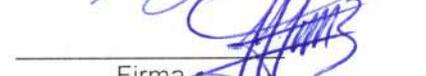
Dr. Manuel Toledano Ayala
Nombre y Firma
Director de la Facultad


Firma


Firma


Firma


Firma


Firma


Dra. Ma. Guadalupe Flavia
Loarca Piña
Nombre y Firma
Directora de Investigación y
Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro. Enero de 2019
México

RESUMEN

La carencia de luz solar en un espacio habitable repercute en la habitabilidad del usuario, el uso de sistemas de iluminación natural puede proporcionar confort y ahorro energético, sin embargo, se observa poca expansión en la utilización de sistemas de alto rendimiento a nivel local, por lo que la población de vivienda popular que presenta el encarecimiento de luz natural en espacios interiores tiene un limitado acceso a ellos debido a su costo. El presente trabajo aborda el desarrollo de un sistema de iluminación natural accesible económicamente dedicado a espacios de difícil acceso a la luz solar aplicable a la vivienda popular para lograr aceptación comercial, disminuir el consumo energético y mejorar las condiciones de habitabilidad y confort para el usuario. El método efectuado se basó en la revisión teórica, en un desarrollo por etapas que abarcaron un estudio del sitio, un estudio de campo para conocer el panorama de la problemática en un tiempo y lugar determinado, un desarrollo experimental para el diseño y fabricación de un prototipo de sistema de iluminación natural, un análisis económico y finalmente un pronóstico de aceptación. Los resultados obtenidos indican una alta disponibilidad lumínica en Querétaro, a pesar de ello se encontró con el estudio de campo que más de la mitad de la población muestra, presenta espacios sin luz solar. Bajo criterios sostenibles, de accesibilidad y funcionalidad se fabricaron a escala los prototipos iniciales del sistema de iluminación natural, se aplicaron en su diseño los resultados de un estudio solar para el sitio. Los prototipos fueron evaluados hasta la obtención de un prototipo final que fue posteriormente fabricado a escala real e instalado para su evaluación y validación comercial. Se analizó su costo y beneficio, teniendo que su uso puede llegar a generar ahorros monetarios significativos. A través de estrategias comerciales, se generó un método para la realización de un pronóstico comercial, con el que se validó la favorable aceptación por parte de la población del sistema desarrollado, por lo que se logró obtener una alternativa accesible que contribuye con la mejora de la habitabilidad y confort y con el ahorro energético.

(Palabras clave: Iluminación natural, sistema, aceptación)

SUMMARY

The lack of sunlight in a living space affects the habitability of the user, the use of natural lighting systems can provide comfort and energy savings, however, there is little expansion in the use of high performance systems locally, for what the popular housing population that has the increased cost of natural light in interior spaces has limited access to them due to its cost. The present work deals with the development of a system of accessible natural lighting economically dedicated to spaces of difficult access to sunlight applicable to popular housing to achieve commercial acceptance, reduce energy consumption and improve living conditions and comfort for the user. The method was based on the theoretical revision, a step-by-step development that included a study of the site, a field study to know the panorama of the problem in a determined time and place, an experimental development for the design and manufacture of a prototype natural lighting system, an economic analysis and finally a forecast of acceptance. The results obtained indicate a high luminous availability in Querétaro, in spite of this it was found with the field study that more than half of the population shows, presents spaces without sunlight. Under sustainable criteria of accessibility and functionality, the initial prototypes of the natural lighting system were manufactured to scale, and the results of a solar study for the site were applied in their design. The prototypes were evaluated until obtaining a final prototype that was subsequently manufactured on a real scale and installed for commercial evaluation and validation. Its cost and benefit were analyzed, taking into account that its use can generate significant monetary savings. Through commercial strategies, a method for the realization of a commercial forecast was generated, with which the favorable acceptance by the population of the developed system was validated, for which an accessible alternative was obtained that contributes with the improvement of the habitability and comfort and with the energetic saving.

(**Keywords:** natural lighting, system, acceptance)

DEDICATORIAS

A mis hijos Arely, Alejandro y Rodrigo Ariel por ser el motor de vida, por motivarme a dar lo mejor en cada paso que caminamos juntos.

A mis padres porque siempre me han dado todo lo que un hijo puede desear, amor, valores y confianza, a mi esposo por su apoyo y palabras de ánimo, y a mi hermana por escucharme y brindarme su cariño.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia, esposo e hijos por su cariño y apoyo incondicional, gracias a mis padres por ser parte importante en cada etapa de mi vida, siempre escuchándome y alentándome a seguir adelante, porque sin su ayuda no hubiera sido posible lograr este objetivo.

A la Universidad Autónoma de Querétaro y a la Facultad de Ingeniería por brindarme un espacio y atenciones en sus instalaciones para poder contribuir con el desarrollo y divulgación de conocimientos.

A CONACyT por la confianza en los proyectos de investigación que promueven el progreso intelectual, científico y tecnológico del país.

A mis asesores, maestros y compañeros, por su apoyo, atención y observaciones en la elaboración del trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Resumen	I
Summary	II
Dedicatorias	III
Agradecimientos.....	IV
Indice de contenido	V
Indice de tablas	VII
Indice de figuras	IX
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación.....	6
1.2 Análisis de la problemática.....	7
1.3 Hipótesis y objetivos.....	8
1.4 Planteamiento metodológico	10
II. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	13
2.1 Iluminación	13
2.1.1 Beneficios de la iluminación natural	14
2.1.2 Iluminación natural en la arquitectura actual	15
2.1.3 Iluminación natural en la habitabilidad de la vivienda.....	17
2.1.4 Influencia de la luz natural en el ser humano	18
2.2 Situación actual de la vivienda queretana	19
2.2.1 Tipología de la vivienda en Querétaro.....	20
III. MARCO TEÓRICO.....	26
3.1 Propiedades y características de la luz natural	26
3.1.1 Fuentes de luz natural	29
3.1.2 Visión humana.....	30
3.1.3 Luz natural en espacios interiores	31
3.3 Normativas para el diseño lumínico	33
3.3.1 Reglamento de construcción del Estado de Querétaro	37
3.4 Sistemas de iluminación natural.....	37
3.4.1 Análisis de los sistemas seleccionados comerciales y sus variaciones	47

IV. DESARROLLO	51
4.1 Estudio del sitio	51
4.1.1 Análisis del entorno	51
4.1.2 Disponibilidad lumínica solar	52
4.2 Estudio de campo.....	53
4.2.1 Selección de la muestra	53
4.2.2 Recolección y análisis de datos	54
4.3 Desarrollo experimental.....	60
4.3.1 Diseño del sistema de iluminación natural	61
4.3.2 Materiales y criterios de selección.....	61
4.3.3 Estudio de la inclinación solar e implementación en el prototipo.....	65
4.3.4 Fabricación del prototipo de sistema de iluminación natural	70
4.3.5 Descripción de los instrumentos de medición	73
4.3.6 Evaluación y resultados de las pruebas, parámetros de desempeño	75
4.3.7 Prototipo 1:1: Fabricación, instalación y evaluación.....	81
4.4 Análisis costo-beneficio	92
4.5 Pronóstico de aceptación	97
4.5.1 Análisis de datos y validación.....	99
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	104
VI. CONCLUSIONES	109
VII. REFERENCIAS	111
VIII. ANEXOS	117
Anexo 1	117
Anexo 2	120
Anexo 3	128
Anexo 4	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de la vivienda en Querétaro por la CONAVI.....	22
Tabla 2. Tipo de construcción según la tabla de valores de construcción 2017....	23
Tabla 3. Características de los sistemas constructivos de las construcciones de tipo moderno mediano del municipio de Querétaro.....	23
Tabla 4. Magnitudes luminosas.....	27
Tabla 5. Cocientes obligatorios de la iluminación natural.....	32
Tabla 6. Niveles de iluminación interior.....	32
Tabla 7. Iluminancias recomendadas por CIE para diferentes tipos de actividad.	33
Tabla 8. Niveles de Iluminación para tareas visuales y áreas de trabajo	34
Tabla 9. Categorías de sistemas de orientación de luz natural y sistemas de protección solar de acuerdo al manejo de la luz	39
Tabla 10. Sistema de iluminación natural con sombreamiento para luz difusa	42
Tabla 11. Sistemas de iluminación natural con sombreamiento para luz directa ..	43
Tabla 12. Sistemas de iluminación natural sin sombreamiento: Sistemas de conducción de luz difusa	44
Tabla 13. Sistemas de iluminación natural sin sombreamiento: Sistemas de conducción de luz directa.....	45
Tabla 14. Sistemas de iluminación natural sin sombreamiento: Sistemas de dispersión de luz	45
Tabla 15. Sistemas de iluminación natural sin sombreamiento: Transporte de luz	46
Tabla 16. Condiciones climáticas del municipio de Querétaro	51
Tabla 17. Características de los materiales utilizados - preselección	63
Tabla 18. Análisis solar para los solsticios y equinoccios en Querétaro.	68
Tabla 19. Características de los sensores utilizados.....	73
Tabla 20. Niveles de iluminación exterior y temperatura registrada en el interior de la caseta.....	90
Tabla 21. Promedio de los niveles de iluminación obtenidos y su equivalencia en lúmenes para el punto A	91

Tabla 22. Promedio de los niveles de iluminación obtenidos y su equivalencia en lúmenes para el punto B	92
Tabla 23. Costo del sistema de iluminación natural	93
Tabla 24. Equivalencia de 1123 lm en Watts para luminarias	94
Tabla 25. Gasto de adquisición de las luminarias	94
Tabla 26. Gasto de adquisición de luminarias sumado al gasto por consumo eléctrico	95
Tabla 27. Materiales alternos	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama metodológico..	10
Figura 2. Tipo de vivienda a nivel nacional.	20
Figura 3. Espectro de luz visible.....	26
Figura 4. Angulo de reflexión.....	28
Figura 5. Angulo de refracción.	28
Figura 6. Difracción.	29
Figura 7. Sistema Himawari.	48
Figura 8. Sistema Solaris.	48
Figura 9. Sistema Ciralight.	49
Figura 10. Sistema Parans.....	49
Figura 11. Sistema Solatube	49
Figura 12. Sistema Deplosun.	50
Figura 13. Sistema de patios reflectantes.	50
Figura 14. Porcentaje de días nublados y soleados en el año para el municipio de Querétaro.....	52
Figura 15.Obtención de muestra probabilística de las viviendas de tipo popular en el municipio de Querétaro por medio de la aplicación STATS™.....	53
Figura 16. Estado de adquisición de la vivienda.	55
Figura 17. Tiempo que tiene viviendo en la propiedad.....	55
Figura 18. Porcentaje de viviendas con espacios carentes de luz natural.	56
Figura 19. Cantidad de habitaciones afectadas al interior de una vivienda que presenta el problema.....	56
Figura 20. Espacios con mayor problema de las viviendas afectadas.	56
Figura 21. Tiempo en que las luces están encendidas durante el día.....	57
Figura 22. Tiempo en que el usuario permanece en la habitación afectada	57
Figura 23. Motivos por los que no se cuenta con suficiente iluminación natural según el usuario.....	57
Figura 24.Sistemas de iluminación natural que el encuestado conoce	58

Figura 25. Personas encuestadas que tienen instalado algún sistema de iluminación natural al interior de su vivienda.....	58
Figura 26. Cantidad que los encuestados estarían dispuestos a pagar por un sistema de iluminación natural.	58
Figura 27. Gasto bimestral de los encuestados por consumo de energía eléctrica.	59
Figura 28. Afectación para los encuestados al tener espacios sin luz natural.....	59
Figura 29. Diagrama del desarrollo experimental.....	60
Figura 30. Bocetos iniciales de los prototipos de sistema de iluminación natural..	61
Figura 31. Carta estereográfica de Querétaro.....	66
Figura 32. Elevaciones solares para el 21 de diciembre..	69
Figura 33. Reflexiones de los rayos solares en el conducto de acuerdo con su elevación en diferentes épocas del año	70
Figura 34. Reflexiones de los rayos solares en el conducto con captador plano para diferentes épocas del año.	70
Figura 35. Interior de la cabina de medición.....	74
Figura 36. Cabina de medición escala 1:2.5	74
Figura 37. Evaluación del prototipo 3.1	75
Figura 38. Funcionamiento durante el experimento.	75
Figura 39. Evaluación del prototipo 4	75
Figura 40. Pruebas realizadas a los prototipos iniciales.....	76
Figura 41. Evaluación comparativa de prototipo inicial con prototipo modificado..	77
Figura 42. Evaluación del prototipo modificado y sus variaciones en longitud	77
Figura 43. Evaluación del prototipo 4 y sus variaciones con diferente difusor y revestimiento interior	78
Figura 44. Modelo de prototipo final.	79
Figura 45. Componentes de prototipo final.....	79
Figura 46. Dimensiones de prototipo final.	79
Figura 47. Prototipo final.	80

Figura 48. Exterior de caseta.....	81
Figura 49. Azotea de caseta.....	81
Figura 50. Interior de caseta.....	81
Figura 51. Microlocalización de caseta en las instalaciones de la Universidad Autónoma de Querétaro	81
Figura 52. Instrumento de medición.....	83
Figura 53. Sensor de luz y temperatura.	83
Figura 54. Conducto de lámina de aluminio.....	83
Figura 55. Colocación de aislante de corcho de 6mm.....	83
Figura 56. Anillo de protección de aluminio.....	84
Figura 57. Difusor de PLA	84
Figura 58. Base impermeable Figura 59. Colocación figurativa de base	84
Figura 60. Kit del sistema de iluminación	85
Figura 61. Kit armado.....	85
Figura 62. Vista frontal del sistema	85
Figura 63. Ubicación del sistema en el interior de la caseta	87
Figura 64. Apertura del hueco	87
Figura 65. Corte de estructura metálica	87
Figura 66. Limpieza del área	87
Figura 67. Colocación de la base impermeable.....	88
Figura 68. Aplicación de sellador en el perímetro	88
Figura 69. Instalación del dispositivo.....	88
Figura 70. Dispositivo instalado.....	88
Figura 71. Colocación del difusor	88
Figura 72. Ubicación de los instrumentos de medición.	89
Figura 73. Niveles de iluminación medidos en luxes por periodo del día obtenidos en el punto A	90
Figura 74. Niveles de iluminación medidos en luxes por periodo del día obtenidos en el punto B	91

I. INTRODUCCIÓN

En México, el consumo de energía eléctrica en el sector doméstico aumentó 38% de 1988 a 2004, teniendo el mayor consumo en las zonas de clima cálido; al año se venden 270 millones de focos incandescentes en todo el país, de los cuales se pierde en promedio 90% de su energía en forma de calor (Greenpeace, 2009).

El consumo de electricidad empleada para la iluminación de espacios durante el día representa un consumo innecesario que puede ser reemplazado por sistemas de iluminación natural que se adapten al espacio y contribuyan al ahorro energético. Según estudios, edificios comerciales y de oficinas con horarios diurnos pueden ahorrar del 20% al 40% en consumo de luz y refrigeración con el uso adecuado de luz y ventilación natural en los interiores arquitectónicos (Guadarrama & Bronfman, 2014).

El elemento básico del diseño con luz natural en arquitectura es la ventana, la cual “es una apertura en la envolvente de la edificación que permite la interacción entre el interior y el exterior y viceversa” (Guadarrama & Bronfman, 2014, p.80). Sin embargo, diversos factores como la orientación, la ubicación, las obstrucciones y el propio diseño dificultan su proyección e incluso su funcionamiento que impiden tener una adecuada iluminación y ventilación natural, esta situación afecta directamente la habitabilidad en un espacio arquitectónico, más aún si se trata de espacios donde el hombre pasa la mayor parte de su tiempo tal es el caso de la vivienda.

¿Pero de qué manera afecta la deficiente o nula iluminación natural la habitabilidad del ser humano en la vivienda? El habitar una vivienda corresponde a variables ampliamente estudiadas en el ámbito del diseño y de la arquitectura, “el habitar es el rasgo fundamental del ser según el cual son los mortales...construir pertenece al habitar, sobre todo el modo en que el construir recibe su esencia del habitar” (Heidegger, 1951, p.8), habitar en este sentido, significa realizar la vida misma en el mundo como seres humanos, habitar con lo que se construye, lo que

se crea y convivir con lo que se tiene, pero también involucra la especificidad en los espacios interiores como expresa Roux, Espuna, y García (2010, p. 21):

La habitabilidad del espacio arquitectónico se refiere a las características que este debe tener para proporcionar la satisfacción biológica, psicológica y espiritual; sabiendo que la carencia de una de ellas se reflejará en las demás provocando incomodidad, que siendo prolongada se manifestará en patologías físicas y emocionales.

Así pues, la vivienda, considerada como un ambiente de gran importancia para la determinación de la calidad de vida de las personas (Roux et al., 2010), constituye una unidad social fundamental, donde se desarrolla principalmente la vida familiar, es aquí donde concurren un sinnúmero de actividades habituales y complejas a la vez, que sumado a capas temporales, sociales, físicas y ambientales, se convierte en un reto para el diseño arquitectónico actual lograr que la habitabilidad en la vivienda recupere su esencia y no caiga en conceptos como morar o residir en el espacio, sino en vivir el espacio.

Teniendo claros los conceptos anteriores, se concluye que habitar un espacio consta de vivir dicho espacio y para ello es necesario contar con los requerimientos de salud y bienestar consecuencia de habitar un espacio prescrito para este fin.

Los aspectos que deben ser tomados en cuenta como elementos de la habitabilidad de un espacio y en específico de la vivienda son, según Barrios (2005):

1. La dimensión física en relación con la antropometría y ergonomía del ser humano.
2. La función, que se refiere a la congruencia entre la actividad y las características del espacio.

3. Confort físico, es la serie de condiciones adecuadas que el cuerpo humano requiere para su adecuado funcionamiento: temperatura, humedad, iluminación, ruido, olores y vibración.
4. Confort psicológico, es la vinculación subjetiva, afectiva e intelectual del usuario con el espacio.
5. La semiótica de la arquitectura o contextualización urbana.
6. El enfoque ecológico.
7. El aspecto urbano.
8. La estética como desarrollo de la espiritualidad humana.
9. La ética, compuesta por los parámetros y argumentos para las decisiones de diseño.

Dentro de estos elementos, es indispensable la luz natural para entender y vivir (habitar) un espacio arquitectónico; además estudios muestran que privar a las personas del ciclo luminoso natural día-noche genera trastornos fisiológicos y psicológicos, y que la luz natural tiene una influencia positiva en el individuo (Guadarrama & Bronfman, 2014).

De esta manera, un espacio interior de una vivienda que no recibe suficiente luz natural durante su ciclo normal día-noche, podría definirse como un espacio que no responde a la habitabilidad y que requiere de métodos y técnicas para que sea funcional y sea congruente con la finalidad para lo que fue diseñado.

Existen diversas técnicas tradicionales que nos permiten hoy en día la obtención de luz natural en espacios interiores donde ésta es deficiente:

Claraboya de ángulo selectivo: Es una ventana que por lo general se ubica en azoteas, al tener una forma piramidal tiene mayor captación de los rayos lumínicos cuando estos se encuentran a mayor elevación y en consecuencia la entrada de luz disminuye cuando estos se encuentran a baja inclinación, esta

situación representa una desventaja considerable ya que, habrá días en los que los rayos no alcancen a entrar a la habitación (Rincón, 2012).

Su principal aplicación es en edificios con un adecuado sistema de ventilación, para nuestro país su uso se encuentra justificado para baños, cocinas no domésticas, locales de trabajo, espacios de reunión, almacenes, circulaciones y servicios, donde el coeficiente de transmitividad del material translúcido no deberá ser menor al 85% para un correcto funcionamiento (Reglamento de construcciones para el Distrito Federal, 1993).

Actualmente su costo oscila entre 2,400.00 a 13,000.00 pesos mexicanos sin IVA y sin considerar los gastos de instalación (Puertas Calvente S.C.P, 2014).

Cristal direccionador de luz cenital: Se compone por láminas holográficas y paneles de cristal los cuales forman un ángulo horizontal que direcciona la luz difusa al interior del espacio a iluminar. Este sistema tiene que estar integrado en las fachadas con menor exposición de radiación solar ya que puede generar gran ganancia de calor dentro de la habitación (International Energy Agency [IEA], 2000).

La primera vez que se instaló fue en 1996, donde su costo fue de 7,900.00 pesos mexicanos por metro cuadrado (IEA, 2000). Actualmente su utilización en México es poco común debido a las características limitadas del sistema y a su vez, por el desarrollo de otros sistemas más económicos y de mejor manejo.

Aberturas cenitales anidólicas: Este sistema está compuesto por un concentrador óptico que se encarga de la captación de la luz, un elemento transmisor, que integra láminas de aluminio anodizado colocados en forma de marcos, y otro con la función de emitir el aporte de luz. Requiere suficiente espacio para que del punto de captación al emisor se pueda transmitir la luz (IEA, 2000).

Su uso está diseñado para azoteas de edificios no residenciales; con este sistema se tiene mayor confort visual y menor deslumbramiento que en aquellos de entrada de luz solar directa, además de tener una iluminación interior constante (IEA, 2000).

Tubos de luz solar: Es un dispositivo cuya finalidad es transportar la luz de un punto a otro con mínimas pérdidas a través del principio de reflexión, por tal motivo estos tubos son generalmente fabricados de materiales con características altamente reflectivas como resinas acrílicas, policarbonatos, vidrio, entre otros (Rincón, 2012). El sistema se compone por un captador de luz solar, una zona de transferencia o transmisión y un difusor.

Por lo regular este sistema está diseñado para situarse exclusivamente en azoteas ya sea de construcciones de un solo nivel o de varios niveles, sin embargo, con conductos prolongados de luz también se pueden ubicar en primeros pisos, debido que tienen la ventaja de funcionar en diferentes condiciones climáticas, además en el interior se obtienen buenas condiciones de iluminación y contribuye con el ahorro de electricidad (Rincón, 2012). Sin embargo, su costo se encuentra entre 7,700.00 y 15,780.00 pesos mexicanos¹ teniendo un lapso extenso de amortización sobre el producto.

Los sistemas descritos son dispositivos para aporte de luz natural desarrollados para contrarrestar las situaciones de deficiencia lumínica de un espacio que por sus características no tiene acceso a la iluminación natural, se puede apreciar que su costo puede dejar fuera a estratos económicos de vivienda, al no estar dentro de sus posibilidades adquirir un dispositivo como estos y que, por lo tanto tiene que hacer uso de un sistema de iluminación artificial durante el día, alterando como se mencionaba al inicio, su habitabilidad y confort.

¹ Consulta de precios de la página oficial <http://www.solatube.com.mx/> de Solatube® México del 27 de abril de 2017, tipo de cambio dólar-peso mexicano (1 dólar= 21.46 pesos).

Existen casos en países como Argentina, donde mediante materiales regionales se puede fabricar un sistema de iluminación de costo accesible, por lo que en México, el uso de materiales de la región en concordancia con los sistemas constructivos de la zona contribuiría a generar un sistema de iluminación natural de bajo costo que cubra los requerimientos de iluminación y colabore en reducir el impacto medioambiental por el uso innecesario de energía eléctrica, debido a que en nuestro país por generación de electricidad, anualmente son emitidas 90 millones de toneladas de bióxido de carbono, 1.6 millones de bióxido de azufre, 280,931 toneladas de óxidos de nitrógeno y 1,117 kg de mercurio (Greenpeace, 2009).

Por otro lado, el potencial de energía solar indica que más de la mitad del territorio mexicano presenta una densidad promedio de radiación solar de 5 kWh por metro cuadrado al día (Tejeda & Gómez, 2015), lo que representa una ventaja para el uso de sistemas de iluminación natural en espacios poco iluminados, puesto que estos sistemas son perfectamente justificables en climas soleados de esta forma generarían una reducción favorable en el consumo de electricidad.

1.1 Justificación

Es la vivienda, definida por la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI, 2010) como el “ámbito físico espacial que presta servicio para que las personas desarrollen sus funciones vitales básicas”, la edificación por excelencia del ser humano que reúne las características más básicas y complejas de la habitabilidad.

En México el mayor número de viviendas corresponde al tipo de vivienda particular, según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2010), por tal motivo la presente investigación se centrará en el desarrollo de un sistema de iluminación natural, aplicable a la vivienda de este tipo.

Como se señalaba anteriormente México se ve ampliamente favorecido en relación a una alta incidencia de radiación solar en gran parte del territorio, debido

a su cercanía con el Ecuador, en promedio tiene valores de 5 a 6 kWh/m² día durante el verano (Tejeda & Gómez, 2015), al respecto, la posición geográfica del estado de Querétaro le permite una gran disponibilidad de la radiación solar, lo cual resulta propicio para el desarrollo de la investigación y la futura implementación de un sistema lumínico.

La existencia de diversos dispositivos que logran un aporte de luz natural en espacios carentes de ella es favorable, sin embargo, a nivel nacional hasta ahora no se han extendido sistemas que se adapten a las condiciones socioeconómicas de México, lo que provoca su poca utilización, por lo que no se obtienen los beneficios que estos dispositivos de alta eficiencia energética son capaces de lograr.

Además, tomando en cuenta que para la salud del ser humano es de suma importancia la exposición gradual a las radiaciones lumínicas, caloríficas y UV, un sistema que permita el aporte de luz natural en espacios con difícil acceso a ella, resulta la mejor opción para lograr mayor nivel de habitabilidad, confort, ahorro energético y monetario.

1.2 Análisis de la problemática

Los desarrolladores de vivienda y constructores particulares, al construir con los requerimientos mínimos de habitabilidad en algunos casos, ocasionan que las viviendas se encuentren ante una mala ubicación, sin una orientación óptima, con colindancias que producen sombreamientos no deseados, aunado a las modificaciones que las viviendas sufren por sus propietarios a lo largo del tiempo en que las habitan.

De tal modo la habitabilidad se ve afectada en espacios que, por cuestiones de diseño o modificaciones en el mismo, presentan un encarecimiento de iluminación natural. En estos casos el uso de sistemas de iluminación natural para

espacios con deficiente entrada de luz beneficiaría el confort y la calidad del espacio para el usuario, además de proporcionar ahorro energético.

En este sentido, la población que habita una vivienda popular, cuyas características físicas impiden el acceso de la luz natural en el interior de alguna de sus habitaciones, no cuenta con las posibilidades económicas para adquirir un dispositivo de iluminación natural para este tipo de espacios, ya que el costo de dichos dispositivos es alto para estos usuarios, pues los de mayor eficiencia energética e innovación tecnológica son productos importados.

En conclusión, la población que habita un espacio interior con deficiente entrada de luz natural, además de verse afectado en su confort y habitabilidad, tiene mayor consumo de energía eléctrica y por lo tanto un gasto monetario en cierta medida innecesario.

1.3 Hipótesis y objetivos

El desarrollo de un sistema de iluminación natural accesible económicamente, tendrá una mayor aceptación comercial para su implementación en espacios de difícil acceso a la luz natural en la vivienda popular del municipio de Querétaro, al ser factor determinante en la reducción del consumo energético, en consecuencia, el usuario tendrá mayor confort y nivel de habitabilidad.

Objetivo general

Desarrollar un sistema de iluminación natural para espacios de difícil acceso a la luz natural, que sea de bajo costo, aplicable a la vivienda unifamiliar, para lograr una mayor aceptación comercial, reducir el consumo energético y mejorar las condiciones de habitabilidad y confort del espacio para el usuario.

Objetivos específicos

- Desarrollar un sistema de luz natural, para el confort de los usuarios de la vivienda unifamiliar, además de repercutirle en un ahorro monetario en los gastos por consumo de energía eléctrica.
- Aportar la posibilidad de un mejor acondicionamiento habitable de un espacio arquitectónico con deficiencia lumínica, haciendo uso de una fuente de energía infinita como lo es el sol.
- Disminuir el impacto ambiental que se produce con la generación de energía eléctrica debido al uso de iluminación artificial durante el día.
- Contribuir con el desarrollo tecnológico local para beneficiar a la población de niveles socioeconómicos promedio de la zona.

1.4 Planteamiento metodológico

El planteamiento metodológico propuesto para el logro de los objetivos y la comprobación de la hipótesis es el siguiente:

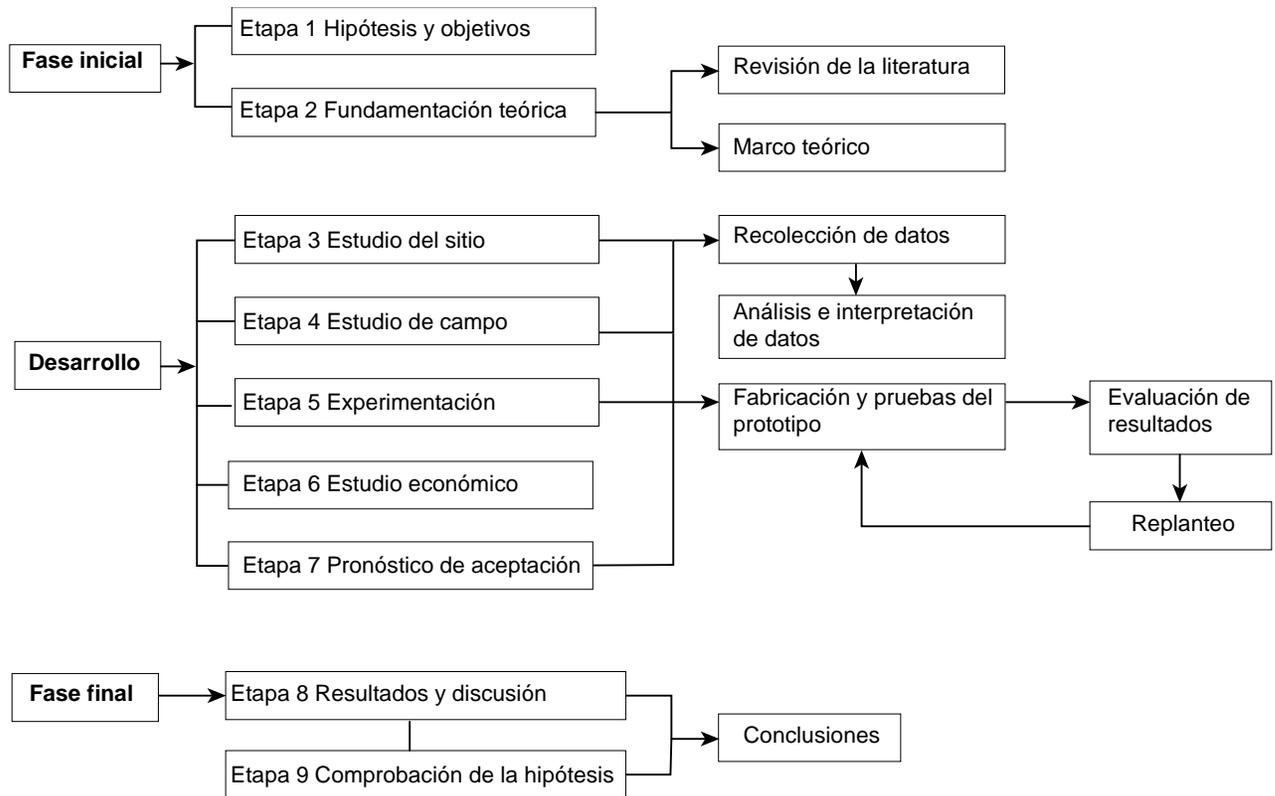


Figura 1. Diagrama metodológico. Fuente: Elaboración propia.

Fase inicial

Etapa 1 Hipótesis y objetivos. Se refiere a la definición de la hipótesis, el objetivo general y específicos para la problemática planteada.

Etapa 2 Fundamentación teórica. Búsqueda, estudio y selección de la información teórica y conceptual sobre los diversos temas que conducen a la investigación en pro del cumplimiento de los objetivos y la comprobación de la hipótesis. Descripción

de los principios técnicos necesarios para la realización del prototipo, conceptos sobre la luz, diseño lumínico y análisis de los sistemas de iluminación natural.

Desarrollo

Etapa 3 Estudio del sitio. Análisis de las características físicas propias del municipio de Querétaro referentes a las condiciones climáticas y disponibilidad lumínica.

Etapa 4 Estudio de campo. Se aplica para confirmar la necesidad de sistemas de iluminación en las viviendas de tipo popular del municipio de Querétaro, el conocimiento acerca del mismo por parte de la población y la situación actual respecto al tema, esto permitirá tener un panorama más amplio de los requerimientos específicos de la población y de la pertinencia de la investigación.

Se realizará el análisis con técnicas y herramientas adecuadas: selección de la muestra, recolección de datos en campo, análisis e interpretación de datos y resultados.

Etapa 5 Experimentación. A partir del análisis y síntesis de los conceptos teóricos se determinarán las características de las técnicas y materiales a utilizar, realizando comparaciones selectivas que definirán el modelo en cuanto accesibilidad y funcionamiento.

Se realizarán croquis, modelos y bosquejos de forma física y a través de software de diseño, que posteriormente se adapten a los requerimientos de un producto final. La fabricación del prototipo será de forma manual con opciones de materiales de acuerdo con los objetivos planteados, para elegir los que logren el resultado buscado, para ello se efectuarán pruebas de funcionamiento con diferentes materiales.

Para evaluar el funcionamiento del prototipo se someterá a diversas pruebas y mediante instrumentos de medición lumínica se valorarán los aportes de luz natural.

Etapa 6 Estudio económico. Se realizará una comparación del consumo energético de una instalación con iluminación artificial con la aplicación del sistema, se compararán los resultados obtenidos mediante los datos del sistema convencional, su consumo energético y monetario, y los lúmenes que aporte el prototipo, al igual que su costo.

Etapa 7 Pronóstico de aceptación. Se determinará el grado de aceptación comercial del sistema de iluminación prototipo mediante encuestas dirigidas a la población previamente seleccionada con el primer estudio de campo, se recabarán datos y se darán conclusiones. La finalidad esta vez será conocer si el prototipo sería utilizado por la población muestra, para ello se buscarán métodos confiables para garantizar la veracidad de los resultados.

Fase final

Etapa 8 Resultados y discusión. Organización y presentación de los resultados obtenidos del desarrollo de la investigación, además de puntos de discusión de los resultados en conjunto.

Etapa 9 Comprobación de la hipótesis. Descripción de la aceptación o rechazo de la hipótesis, generación de conclusiones y recomendaciones finales.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Iluminación

La iluminación se define como “la intensidad de luz que incide en un lugar dado de una superficie iluminada” (Ching, 2000, p.181), también conocida como iluminancia, su objetivo es brindar la visibilidad adecuada para realizar las actividades de manera cómoda en el interior de un espacio; y es que, hoy en día, las personas pasan la mayor parte del tiempo en espacios interiores, y la iluminación ya sea natural o artificial, debe estar diseñada de acuerdo a las necesidades de sus ocupantes, para lo cual la atención en el diseño de sistemas de iluminación está enfocada en limitar o definir las intensidades mínimas para el ahorro de energía y garantizar el confort visual.

Los efectos de la iluminación en un espacio interior también dependen de factores como: las características físicas del espacio (muros, pisos y plafones), el tipo de actividades a realizar, las propiedades de los objetos que se encuentran dentro, la edad y agudeza visual de los usuarios (Merritt, 1990), por lo tanto, el diseño de iluminación se tiene que considerar como parte de un sistema que interactúa con otros subsistemas de la edificación para obtener un resultado favorable.

La iluminación en interiores puede ser a través de luz natural, artificial o ambas, mediante métodos como los que menciona Merritt (1990):

- Iluminación general: es la luz distribuida de manera uniforme en un espacio, por lo regular mediante el uso de luz difusa.
- Iluminación local o funcional: es la luz dedicada a un área específica para realizar tareas con mayor precisión.
- Iluminación de acentuación: es una variante de la iluminación local que tiene como fin crear puntos de atención para los observadores.

- Iluminación decorativa: se basa en el uso de colores o efectos para generar interés visual o estético.

2.1.1 Beneficios de la iluminación natural

Pattini (1994) muestra que, en relación con la iluminación artificial, la iluminación natural presenta las siguientes ventajas:

- Proviene de una fuente de energía renovable.
- Considera el ahorro energético.
- Con un adecuado diseño, puede cumplir con los estándares de iluminación de espacios interiores donde se realicen tareas visuales de complejidad media entre un 60-90% del total de horas de luz natural, lo que tiene un potencial ahorro en energía eléctrica de hasta el 90% en edificios de uso diurno.
- Mediante instalaciones económicamente sustentables, es factible lograr altos niveles de iluminación durante el día, para gran parte del año, que los obtenidos con luz artificial.
- La luz solar directa aporta menor energía calorífica por lumen que la mayoría de las fuentes de iluminación eléctrica.
- Contempla cualidades positivas para la satisfacción de las necesidades biológicas y psicológicas de los ritmos naturales, además propicia una estrecha relación con el ambiente exterior.
- Incremento en el valor comercial de edificaciones con adecuada iluminación natural.

Sin duda, el uso de la iluminación natural frente al uso de la iluminación artificial tiene mayores ventajas, no obstante esta depende de la disponibilidad de ventanas o de la ausencia de obstrucciones, además de las limitaciones del periodo de luz de día dado por el ciclo natural día-noche, sobre todo en días nublados (Merritt, 1990), ante estas condiciones es indispensable el uso de la iluminación artificial, asimismo para espacios donde la luz natural no llega en forma adecuada,

ante esta situación es transcendental plantear estrategias para hacer llegar la luz natural de manera más profunda a este tipo de espacios.

2.1.2 Iluminación natural en la arquitectura actual

La luz es indispensable para distinguir todo lo que rodea al ser humano, además su intensidad, dirección y tonalidad define la percepción que el hombre tiene de los objetos y espacios en los que se encuentra; también su evolución a través del tiempo ha tenido diferentes maneras de intervención en la arquitectura, desde las primeras cuevas, la luz natural establecía la distinción entre el día y la noche (Phillips, 2004), en la antigüedad, la luz natural en las construcciones tenía un valor estrechamente ligado a sus creencias.

Monumentos prehistóricos como Stonehenge (2500 A.C), muestran una fuerte relación entre la luz y la arquitectura, este sitio fue un centro religioso vinculado con el movimiento natural del sol, la luna y las estrellas, orientado a la luz y a la energía de los cuerpos celestes. En la arquitectura egipcia, el edificio se disponía en torno a una planta con un eje longitudinal que simbolizaba el río Nilo, estaba concebido de tal forma que la techumbre y el suelo de las salas se aproximaban a medida que la luz entraba (Universidad de la República Uruguay [UDELAR], 2014).

De igual forma los griegos y romanos concibieron su arquitectura a partir del sol, tal es el caso del panteón de Roma donde la luz que entra a través del óculo en el centro de la cúpula, actúa como un reloj solar (UDELAR, 2014).

La edad media se caracterizó por el uso de grandes ventanales para las catedrales asociadas a la historia bíblica cristiana, mientras que en el renacimiento la iluminación en los interiores buscaba la exaltación de las proporciones y el orden arquitectónico, en el barroco mediante el uso de la luz se pretendía la combinación de las formas, los reflejos y la integración de la pintura (UDELAR, 2014).

Con la Revolución Industrial se requirieron edificios acondicionados a las tareas laborales con altos niveles de luz, sobre todo artificial, desde entonces ha surgido el intenso estudio de la influencia del tipo de iluminación sobre el aumento de la producción en los puestos de trabajo (Ganslandt & Hofmann, s.f), se han determinado parámetros y recomendaciones de iluminancias mínimas para diversas tareas visuales, basándose en estudios fisiológicos de la percepción humana.

A medida que el desarrollo tecnológico aumenta, la luz artificial destaca debido a la generación de fuentes de luz más eficaces, por lo que se puede tener una iluminación según el gusto o requerimiento de cualquier espacio, a pequeña o gran escala, y las diversas maneras de intervención de la luz en un espacio pueden crear sensaciones agradables, únicas o sorprendidas e incluso desagradables que hacen de la arquitectura toda una experiencia. Ante este enfoque, “Le Corbusier definía a la arquitectura como el juego sabio, correcto y magnífico de los volúmenes bajo la luz, y que ésta debía repercutir en la forma de vida de los ocupantes de los edificios” (UDELAR, 2014, p.7).

En la arquitectura actual resalta la importancia de considerar la luz natural del sitio en el proceso de diseño y el impacto que tiene en las obras arquitectónicas, esto debido a la relación inevitable entre luz y arquitectura que hace que la arquitectura tenga su razón de ser; al respecto Peytaví (2017) señala que la luz natural es un elemento que no puede ser eliminado de la arquitectura, por lo que un espacio sin ninguna entrada de luz no se puede considerar realmente un espacio, “según decía Louis I. Kahn: ningún espacio, arquitectónicamente, es un espacio sin luz natural” (Peytaví, 2017, p.11).

Fue con la crisis energética de los 70 y 80, el incremento en el costo de los combustibles, el calentamiento global y el efecto invernadero que se renovó el interés por el uso de la luz natural por toda la gama de sus posibilidades tanto estéticas como las de satisfacer necesidades biológicas (UDELAR, 2014).

Después de la Segunda Guerra Mundial surge en Estados Unidos una nueva filosofía orientada a los aspectos cualitativos de la iluminación, los cuales involucran además de la percepción visual del hombre, su percepción psicológica, uno de sus pioneros es Richard Kelly, quien “sustituye la cuestión de la cantidad de luz por las calidades individuales de la luz” (Ganslandt & Hofmann, s.f, p.24) con ello aporta una parte esencial a una teoría cualitativa de la planificación con luz, más tarde William Lam distingue algunos criterios para la iluminación cualitativa (*activity needs* y *biological needs*) que describen las necesidades del hombre, los requisitos de un entorno funcional y adecuadamente perceptible, el concepto de que la luz no es solo capaz de hacer visible una arquitectura, sino que también la puede cambiar con su efecto (Ganslandt & Hofmann, s.f).

El enfoque de esta filosofía es convertir a la iluminación en un elemento arquitectónico con la capacidad de transformar un espacio a través de los requerimientos visuales y psicológicos del ser humano, trabajar con la luz a manera de proceso constructivo y no como instalación a integrar en un espacio.

2.1.3 Iluminación natural en la habitabilidad de la vivienda

La manera en que incide la luz natural sobre el objeto arquitectónico está determinada por su emplazamiento y posición geográfica y espacial (Guadarrama & Bronfman, 2014), por lo que es necesario que durante el proceso de diseño se consideren las características de la luz natural del lugar, las cuales condicionarán la forma en cómo el espacio será percibido y habitado. En consecuencia, las estrategias de iluminación natural y aprovechamiento de la luz solar dependen de la disponibilidad de la luz natural, de las condiciones que existen en el interior de los espacios, las obstrucciones que impiden la entrada de la luz, las construcciones colindantes y la topografía del terreno que puede modificar la cantidad de luz a ciertas horas del día.

La variabilidad en el espacio y en el tiempo es la característica principal de la luz natural la cual está definida por la ubicación específica de un lugar en la Tierra y por la hora del día en determinada época del año, por lo tanto, un objeto y su espacialidad iluminada serán únicos en cualquier momento y lugar (Guadarrama & Bronfman, 2014).

2.1.4 Influencia de la luz natural en el ser humano

La luz natural y su aplicación tiene diversas ventajas en la vida del ser humano, desde influir positivamente en el estado de ánimo hasta la recuperación de las debilidades físicas de un individuo, ya que como señala Guadarrama & Bronfman (2014, p.81):

El ser humano segrega, gracias al ciclo día-noche, hormonas que mantienen en equilibrio al organismo, si este ciclo se altera, alargando el periodo luminoso natural mediante el uso excesivo de la luz eléctrica por las noches o disminuyendo el flujo luminoso natural requerido por el día (utilizando luz eléctrica) provoca desajustes en la salud y en el bienestar psicológico de las personas.

Se han realizado varias investigaciones relativas a la influencia positiva que tiene la luz natural en el ser humano, las cuales han mostrado cómo crea sensación de bienestar y genera mejor desempeño laboral y escolar, además en el caso de los enfermos apresura el proceso de recuperación, por el contrario, ante la ausencia de luz natural, los seres humanos, y otros seres vivos desarrollan conductas anormales causados por la alteración del ciclo diurno (Guadarrama & Bronfman, 2014).

Por otro lado, la luz natural que incide sobre un sitio trae consigo múltiples propiedades a controlar en su influencia en el ser humano, como la radiación solar, el deslumbramiento, su dosificación y por su puesto su impacto en la materia

construida, sin embargo, es innegable la preferencia del ser humano hacia la iluminación natural ante la artificial, y aunque en la actualidad existen luminarias de espectro completo que producen una iluminación que imita a la luz del sol, no hay una que iguale las características y beneficios completos que aporta la luz natural.

2.2 Situación actual de la vivienda queretana

La ubicación del estado de Querétaro ha suscitado la intensa instalación de industrias y con ello el acondicionamiento para áreas destinadas a los servicios y viviendas, lo que ha originado la creación de grandes conjuntos habitacionales y edificios para viviendas, tiendas departamentales y oficinas que han cambiado la estructura original compacta de la ciudad, proceso que se produjo entre 1960 y 1980 (González, 2012), y que con la ampliación del sector productivo, continúa vigente dando pie a la expansión de la mancha urbana.

González (2012) muestra que, según la Matriz de Mercado Inmobiliario realizada por la Secretaría de Desarrollo Urbano del Municipio de Querétaro, 36 desarrollos habitacionales fueron construidos entre 2008 y 2011, de los cuales 22 dirigidos al sector popular, tres al sector medio, nueve a residencial y dos a servicios, de tal forma que las inmobiliarias privadas se diversificaron en 3 rangos: popular, medio y residencial.

En Querétaro la modalidad mayormente referenciada sobre el uso del suelo es la del fraccionamiento cerrado con 253 en todo el municipio, seguido por la colonia con 132 y finalmente los condominios con 83, datos que revelan la horizontalidad como una forma dominante de construcción (González, 2012).

La mancha urbana ha avanzado hacia los municipios de Corregidora, El Marqués y Huimilpan, una de las causas ha sido la expansión de fraccionamientos, principalmente debido a los asentamientos humanos y a las actividades productivas que han ocasionado gran aumento en la producción de viviendas para todo tipo de

posibilidades económicas; que deriva en la oferta de cinco diferentes opciones: de bajo ingreso, interés social, vivienda media, residencial y residencial plus (González, 2012).

2.2.1 Tipología de la vivienda en Querétaro

El municipio de Querétaro ocupa el 5.84% de la superficie total del estado y cuenta con 334 localidades, su población total es de 801 940 habitantes y el rango de temperatura va de los 12°C a los 20°C, predomina el clima semiseco templado (INEGI, 2010). Se encuentra dividido en siete delegaciones: Villa Cayetano Rubio, Centro Histórico, Centro Histórico de monumentos, Epigmenio González, Felipe Carrillo Puerto, Félix Osores Sotomayor, Josefa Vergara y Hernández y Santa Rosa Jáuregui.

La CONAVI (2010) clasifica a la vivienda según su tipología, es decir de acuerdo con sus principales características, por lo que tiene una clasificación por precio, por forma de construcción y número de viviendas por lote. En relación a la clasificación de la vivienda por precio promedio (CONAVI, 2010), se tienen en cuenta los siguientes tipos (Figura 1), de los cuales se aprecia que a nivel nacional el 43% de las viviendas totales son de tipo popular y solo 9% de tipo económica.

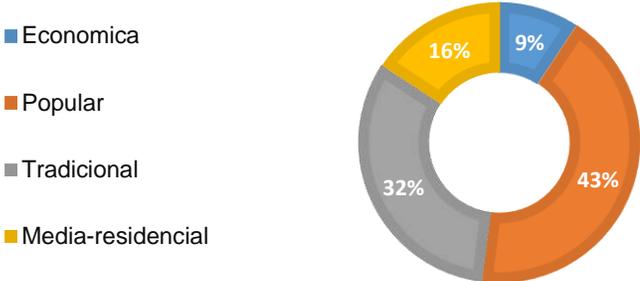


Figura 2. Tipo de vivienda a nivel nacional. Fuente: Elaboración propia basada en datos de CONAVI (s.f)

Debido a las diversas modalidades de clasificación de la vivienda y con el interés de abarcar un amplio sector de la población, el cual es la vivienda de tipo popular, a continuación, se describe cada tipo para enseguida desglosar las características constructivas de la vivienda popular, puesto que es indispensable

conocer el estado actual del espacio construido de la mayoría de la población y poder plantear estrategias congruentes con las cualidades socioculturales de la zona.

La **vivienda económica** es aquella con una superficie construida promedio de 20 m², con un valor de hasta 118 VSMMDF² y cuenta con baño, cocina y un área de usos múltiples.

La **vivienda popular** se define como aquella con una superficie construida promedio de 42.5 m², con valor de 118.1 a 200 VSMMDF y cuenta con baño, cocina, estancia-comedor, y de 1 a 2 recámaras.

La **vivienda tradicional** consta de 62.5m² en promedio de superficie construida, tiene un valor de 200.1 a 350 VSMMDF y tiene baño, cocina, estancia-comedor, y de 2 a 3 recámaras.

La **vivienda media** tiene 97.5m² promedio de superficie construida, tiene un valor de 350.1 a 750 VSMMDF, y cuenta con baño, ½ baño, cocina, sala, comedor, y de 2 a 3 recámaras, además de cuarto de servicio.

La **vivienda residencial** es aquella que cuenta con 145m² en promedio de superficie construida, tiene un valor de 750.1 a 1,500 VSMMDF y tiene de 3 a 5 baños, cocina, sala, comedor, de 3 a 4 recámaras, cuarto de servicio y sala familiar.

La **vivienda residencial plus** consta de 225m² de superficie construida en promedio, tiene un valor mayor a 1,500 VSMMDF y posee de 3 a 5 baños, cocina, sala, comedor, de 3 a más recámaras, de 1 a 2 cuartos de servicio y sala familiar.

En cuanto a la clasificación anterior, la CONAVI a través del Sistema Nacional de Información e Indicadores de Vivienda proporciona la cantidad de

² Veces Salario Mínimo Mensual del D.F

viviendas vigentes para el estado de Querétaro ver Tabla 1, donde se puede notar que la vivienda tradicional y popular son los tipos que predominan en el estado y también en el municipio.

Tabla 1. Clasificación de la vivienda en Querétaro por la CONAVI

CONAVI- Inventario de vivienda vigente por valor de la vivienda	Viviendas en el Estado de Querétaro 2017	Viviendas en el municipio de Querétaro 2017
Económica		
Tipo de vivienda Económica (Menos de 118 VSMM = Menos de \$311,451.65)	262	81
Popular	7,866	3,436
Tipo de vivienda Popular (De 118 VSMM a 200 VSMM = Entre \$311,451.65 y \$486,643.20)		
Tradicional	11,897	6,575
Tipo de vivienda Tradicional (De 200 VSMM a 350 VSMM = Entre \$486,643.20 y \$851,625.60)		
Media-Residencial	6,719	3,093
Incluye vivienda Media, Residencial y Residencial Plus (Más de 350 VSMM = Más de \$851,625.60)		
Total	26,888	13,185

Fuente: Elaboración propia basada en datos de CONAVI (s.f)

Por otro lado, la ley que regula a los agentes y empresas inmobiliarias en el Estado de Querétaro considera la clasificación en 4 grupos de tipos de construcción, de acuerdo con su valor catastral unitario, estos grupos son: especiales, industrial, antiguo y moderno, de los cuales se incluyen en la Tabla 2 las construcciones de tipo moderno (Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Querétaro, 2016).

Tabla 2. Tipo de construcción según la tabla de valores de construcción 2017

Tipo de construcción	Valor catastral unitario 2017
Moderno económico	\$1,980.00 M2
Moderno económico mediano	\$3,440.00 M2
Moderno mediano	\$4,890.00 M2
Moderno mediano calidad	\$6,340.00 M2
Moderno calidad	\$7,780.00 M2
Moderno calidad lujo	\$9,130.00 M2

Fuente: Elaboración propia basada en datos de Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Querétaro (2016)

Los tipos de construcción se agrupan por los elementos constructivos principales, para su análisis se toman en cuenta las características que describen al tipo de construcción moderno económico mediano y moderno mediano (Tabla 3):

Tabla 3. Características de los sistemas constructivos de las construcciones de tipo moderno mediano del municipio de Querétaro

Concepto	Características
Cimentación	Mampostería de piedra braza Zapatillas corridas de concreto armado Losa de cimentación de concreto armado
Estructura	Muros de carga de mampostería con refuerzo de concreto armado Refuerzos de concreto armado Claros menores de aprox. 4 m
Muros	A base de block hueco, tabicón o tabique Panel estructural de poliestireno expandido (EPS) con electromalla de acero y mortero lanzado o gunitado Muro de concreto armado prefabricado y colado en sitio de 10 a 20 cm de espesor

Techos	<p>Losa maciza de concreto armado de 7 a 12 cm</p> <p>Losa aligerada de vigueta y bovedilla</p> <p>Losa aligerada de panel estructural de poliestireno expandido (EPS) con malla de acero y mortero lanzado o gunitado</p> <p>Bóveda catalana con vida de concreto o madera</p>
Entrepisos	<p>Losa maciza de concreto armado de 10 a 12 cm</p> <p>Losa aligerada de vigueta y bovedilla</p> <p>Losa aligerada de panel de concreto lanzado con núcleo de poliestireno o poliuretano y estructura tridimensional de acero</p>
Azotea	<p>Relleno y entortado</p> <p>Relleno, entortado, enladrillado y lechadeado</p> <p>Impermeabilización asfáltica</p>
Escaleras	<p>Losa de concreto armado con escalones forjados de mampostería (tabique-9 recubierto con material de piso o acabado de concreto martelinado o escobillado</p> <p>Metálica con perfiles estructurales ligeros</p>
Aplanados	<p>Aplanado de mezcla de mortero</p> <p>Aplanado de yeso o pasta</p> <p>Acabado en tirol planchado</p>
Plafones	<p>Aplanado de mezcla de mortero</p> <p>Aplanado de yeso o pasta</p> <p>Acabado en tirol rustico o planchado</p>
Pisos	<p>Mosaico de pasta</p> <p>Loseta cerámica de calidad comercial</p> <p>Loseta vinílica o congoleum</p> <p>Terrazos</p>
Lambrines	<p>Loseta de cerámica calidad comercial o azulejo en zona húmeda de cocina y baño</p> <p>Parquet de mármol en zonas húmedas</p>
Zoclo	<p>Material de piso vinílico</p>
Carpintería	<p>Puertas de intercomunicación tipo tambor de madera y triplay de pino o caobilla</p> <p>Puertas de intercomunicación prefabricadas económicas con marcos de cajón metálicos</p> <p>Puerta de PVC</p>
Herrería	<p>Perfiles tubulares comerciales</p>

	Perfil de aluminio natural económico Acero estructural ligero Barandal de acero estructural
Vidriería	Cristal sencillo o medio doble
Pintura	Vinílica económica, esmalte, barniz
Instalación eléctrica	Ocultas con elementos intercambiables
Instalación hidráulica	Ocultas mínimas de cobre o CPVC
Instalación sanitaria	Muebles de baño calidad comercial Ocultas de PVC y albañal 1 baño
Fachadas	Aplanados de mezcla y pintura
Cerrajería	Chapas de entrada y de intercomunicación del país calidad económica de embutir y sobreponer

Fuente: Elaboración propia basada en datos de Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Querétaro (2016)

III. MARCO TEÓRICO

3.1 Propiedades y características de la luz natural

La luz natural se define como la fracción del espectro electromagnético de la radiación solar que puede percibir el ojo humano permitiéndole la visión, acción indispensable para procesar la información que percibe a su alrededor mediante el sistema visual (Guadarrama & Bronfman, 2014). Además, el ojo humano puede distinguir las diferentes longitudes de onda del espectro luminoso (Figura 3) captándolas como color de la luz, se tienen los colores violeta-azul a las longitudes cortas ($0.4\mu\text{m}$) y los colores naranja-rojo a las longitudes largas ($0.70\mu\text{m}$) (Monroy, 2003-2006).

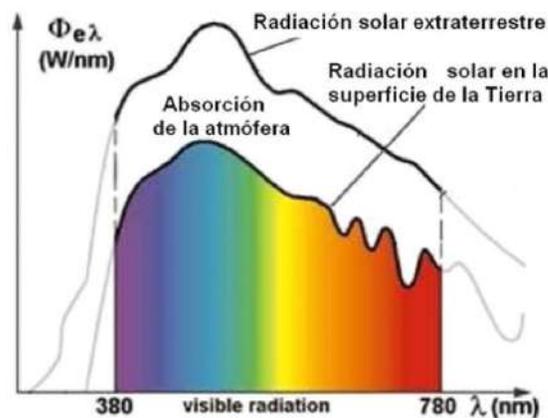
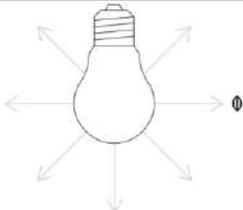


Figura 3. Espectro de luz visible. Fuente Monroy (2006)

La tonalidad de color de la luz se puede establecer por su temperatura de color T_c ($^{\circ}\text{K}$), de este modo la luz de día tiene una $T_c = 5500^{\circ}\text{K}$, las lámparas incandescentes tienen una $T_c = 3000^{\circ}\text{K}$, con una tonalidad rojiza, mientras que la luz de la bóveda celeste tiene una $T_c = 10000^{\circ}\text{K}$, de tono azulado (Monroy, 2003-2006).

Las características principales de la luz se pueden determinar mediante magnitudes luminosas (Tabla 4) a partir de ellas podremos medir los requerimientos luminotécnicos para respetar los niveles de iluminación requeridos en un espacio.

Tabla 4. Magnitudes luminosas

Imagen	Descripción	Unidad de medida
	<p>Flujo Luminoso Es la cantidad de luz que emite una fuente luminosa hacia el espacio circundante.</p>	Lumen (lm)
	<p>Eficacia luminosa Grado de acción de un iluminante, es la relación del flujo luminoso y la potencia empleada.</p>	lm/W
	<p>Intensidad luminosa Idealmente es la radiación del flujo luminoso de una fuente de luz, de manera uniforme en todas las direcciones de espacio, pero que en la práctica por lo general se da una distribución irregular, por lo que se puede definir como la distribución espacial del flujo luminoso.</p>	Candela (cd) Única unidad base de la luminotecnica
	<p>Iluminancia Es la relación del flujo luminoso que cae sobre una superficie y el área de la misma, sin embargo, no está sujeta a una superficie real.</p>	Lux (lx) 1lx= lm/m2
	<p>Luminancia Describe la luz que procede de la superficie receptora del flujo luminoso, la cual corresponde a la luz que puede ser reflejada o transmitida por la superficie. Constituye la base de claridad percibida.</p>	cd/m2

Fuente: Elaboración propia, basada en Ganslandt & Hofmann (s.f)

Según el Instituto para la diversificación y ahorro de la energía (IDAE, 2005) la luz natural comprende tres componentes básicos: el haz directo que proviene del sol, la luz que se difunde en la atmósfera y la luz que procede de las reflexiones, en

cuanto a estas últimas también se encuentran propiedades ópticas importantes que se deben tomar en cuenta para conocer su comportamiento durante el diseño de un sistema de iluminación, las cuales son:

La reflexión (Figura 4), se refiere al cambio de dirección de las ondas luminosas al incidir sobre una superficie reflectante, el ángulo que forma un rayo reflejado con la normal a la superficie reflectante en el punto de contacto es llamado ángulo de reflexión. Una variante es la reflexión especular, la cual es aquella reflejada por una superficie lisa y pulida.

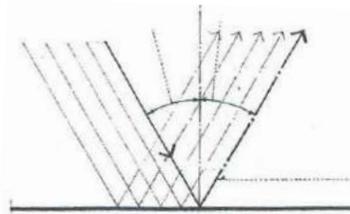


Figura 4. Angulo de reflexión. Fuente: Ching (2000)

La refracción (Figura 5), es el cambio de dirección que sufre un rayo luminoso al pasar oblicuamente de un medio restringente a otro en el que su velocidad es distinta, el ángulo que forma un rayo refractado con la normal a la superficie de separación entre dos medios, en el punto de incidencia se denomina ángulo de refracción.

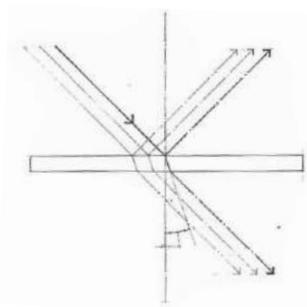


Figura 5. Angulo de refracción. Fuente: Ching (2000)

La difracción (Figura 6) se refiere a la modulación de las ondas luminosas al rodear el contorno de un obstáculo opaco que interseca su trayectoria.

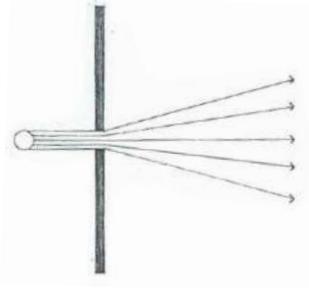


Figura 6. Difracción. Fuente: Ching (2000)

Se puede observar que las superficies iluminadas se comportan de manera diferente ante la incidencia de los rayos luminosos, esta situación también varía según el material del que están compuestas dichas superficies así que en materiales opacos la luz se absorbe o refleja, mientras que en los traslucidos una parte se transmite a través de la superficie (Monroy, 2006).

3.1.1 Fuentes de luz natural

La **luz solar directa** es la que se recibe directamente del sol e incide en un sitio determinado. Sus características principales son: cambio constante de dirección, su posibilidad de ocurrencia, la iluminación que produce en una superficie horizontal no obstruida y su temperatura de color (Pattini, 1994).

La **luz solar indirecta** es la que se obtiene por la reflexión de la incidencia de la luz natural en un lugar específico, por lo que a través de superficies que direccionen la luz se puede mejorar la iluminación de un espacio interior (Pattini, 1994).

La **luz solar difusa** es la que tiene aproximadamente la misma intensidad en diferentes direcciones, es decir, la luz proveniente de la bóveda celeste sin considerar la luz del sol (Pattini, 1994).

3.1.2 Visión humana

La percepción visual corresponde a la interpretación de la imagen del entorno sobre la retina del ojo, que se lleva a cabo mediante la conversión de las luminancias en estímulos nerviosos, de tal forma el ojo puede adaptarse a diferentes condiciones de iluminación (Ganslandt & Hofmann, s.f).

El ojo humano tiene un amplio campo visual, pero con diferente agudeza visual, definida como la capacidad de percibir detalles y depende principalmente de factores como el nivel luminoso, la edad y salud ocular del observador. De esta forma Monroy (2003-2006) describe los siguientes campos visuales:

- Campo focal: su diámetro es de 1° y en su eje se alcanza la máxima agudeza visual.
- Campo de trabajo: tiene un diámetro de 30° , se tiene una agudeza visual buena y se aprecia bien la profundidad.
- Campo estereoscópico: tiene un diámetro de 60° , el ojo percibe una visión del entorno con una agudeza visual media y mantiene la apreciación de la profundidad.
- Campo periférico: abarca una desviación lateral e inferior de 90° , se tiene una visión de baja resolución del entorno.

El ojo humano tiene la capacidad de adaptarse a diferentes niveles de iluminación, sin embargo, si existe un contraste demasiado alto entre claridad y oscuridad o brillo excesivo se puede producir deslumbramiento.

Para tener confort visual se requiere contar con una adecuada iluminación, control del deslumbramiento y consideraciones subjetivas de un adecuado esquema de color. Para el diseño con luz natural además se requiere evitar interiores oscuros y valorar las adecuadas formas y tamaños de las ventanas (Méndez, 2009).

Asimismo, el confort lumínico se logra cuando el ojo humano está en condiciones de leer u observar un objeto de manera fácil y rápida, sin distracciones y sin ningún tipo de estrés (Ganslandt & Hofmann, s.f).

3.1.3 Luz natural en espacios interiores

La luz natural que entra en un espacio interior por una abertura se estima por medio del cociente de iluminación natural D (*daylight factor*) expresado en porcentaje por ejemplo “si la intensidad de la iluminación en el exterior es de 5,000 lux y en el interior es de 500 lux, entonces $D=10\%$ ” (Neufert, 2014, p.504), este factor es constante y solo varía según las condiciones de cielo cubierto, hora del día y estaciones del año.

El factor de iluminación natural (D) depende de elementos como: la luz reflejada (por el cielo, edificios o por las superficies interiores), la transmisión lumínica del acristalamiento, las sombras originadas por el tipo de abertura, el ángulo de incidencia de la luz del sol, la posición y el tamaño de las aberturas (Neufert, 2014) de esta manera se obtiene diferente distribución de luz natural al interior de los espacios.

La norma DIN 5034-Luz natural en espacios interiores (Neufert, 2014) señala datos puntuales sobre la distribución de la luz natural en el interior de viviendas y oficinas, como se puede observar en la Tabla 5, la uniformidad alcanzada con la luz lateral no es buena, contrario a la que incide de forma cenital, esta es más clara y su intensidad es tres veces mayor que la del horizonte, el 100% de la luz del cielo incide en un lucernario, mientras que en una ventana solo el 33.3% (Neufert, 2014), sin embargo la calidad de luz natural que entra de manera cenital a un espacio interior depende de variables como las dimensión y reflexión del espacio, la forma de la abertura, entre otros.

Tabla 5. Cocientes obligatorios de la iluminación natural.

Espacio interior	Factor de iluminación natural	Luz lateral	Luz cenital
Habitaciones de una vivienda	$D_{\text{mín}} \geq$	1%	2 %
Oficinas con acristalamiento en dos sentidos	$D_{\text{mín}} \geq$	2%	4 %
U= Uniformidad: $D_{\text{mín}}/D_{\text{máx}} \geq$		1:6	1:2

Fuente: Elaboración propia, basada en Neufert (2014)

La distribución de la claridad en un espacio interior depende del nivel de reflexión de las superficies y de la disposición de las aberturas, se puede modificar la uniformidad por medio de estrategias como aumentar el grado de reflexión, direccionar la luz natural y con la distribución apropiada de las ventanas (Neufert, 2014).

Para lograr un adecuado diseño lumínico al interior de los espacios es necesario que se satisfagan las necesidades visuales, es decir que los ocupantes puedan realizar sus actividades en confort y con seguridad. De acuerdo a las actividades a realizar en un espacio interior se fijan los siguientes esquemas de niveles de iluminación (Tabla 6).

Tabla 6. Niveles de iluminación interior

Actividad interior	Día	Noche
Exceso de luz	3000 lux	1000 lux
Actividad detallada	1000 lux	300 lux
Actividad media	300 lux	100 lux
Actividad baja	100 lux	30 lux
Falta de luz	30 lux	10 lux

Fuente: Elaboración propia basada en Monroy (2006)

Otro elemento importante a tomar en cuenta para el diseño con luz natural en espacios interiores es el deslumbramiento, el cual se origina debido a la reflexión directa e indirecta de las superficies y a contrastes desfavorables en la intensidad

de iluminación. Algunas medidas para evitar el deslumbramiento son el uso de protectores solares en el interior o exterior del espacio iluminado, superficies mates y la correcta ubicación de iluminación complementaria (Neufert, 2014).

3.3 Normativas para el diseño lumínico

Para el diseño de la iluminación es necesaria la aplicación de los niveles de iluminación adecuados, estos ya han sido establecidos por normas reconocidas, en este caso se presentan las iluminancias recomendadas (Tabla 7) según la Comisión Internacional de Iluminación (CIE).

Tabla 7. Iluminancias recomendadas por la CIE para diferentes tipos de actividad.

E(lux)	Actividad
20-50	Caminos y áreas de trabajo en el exterior.
50-100	Orientación en espacios de permanencias breves.
100-200	Espacios de trabajo no siempre ocupados.
200-500	Tareas visuales con escaso grado de dificultad.
300-750	Tareas visuales con mediano grado de dificultad.
500-1000	Tareas visuales con elevadas exigencias (trabajos de oficina, etc.).
750-1000	Tareas visuales con elevada dificultad (montajes de precisión, etc.).
1000-2000	Tareas visuales con dificultad muy elevada (tareas de control, etc.).
>2000	Iluminación adicional para tareas difíciles y especiales

Fuente: Elaboración propia basada en Ganslandt & Hofmann, s.f.

La legislación nacional a través de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) regula el cumplimiento de los criterios de calidad y seguridad de productos y servicios que entran al mercado, y en referencia a la disposición de medidas para el diseño lumínico se tienen las siguientes normas:

NOM-025-STPS-2008. Condiciones de iluminación en los centros de trabajo: establece los requerimientos de iluminación en las áreas laborales para que,

al contar con los niveles lumínicos adecuados, los usuarios puedan realizar sus actividades de la mejor forma. Los niveles mínimos de iluminación para los espacios de trabajo según el tipo de tarea visual o área, son los descritos en la Tabla 8, (Secretaría del Trabajo y Previsión social [STPS], 2008).

Tabla 8. Niveles de Iluminación para tareas visuales y áreas de trabajo

Tarea visual del puesto de trabajo	Área de trabajo	Niveles mínimos de iluminación (luxes)
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Exteriores generales: patios y estacionamientos.	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Interiores generales: almacenes, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.	50
En interiores.	Áreas de circulación y pasillos; salas de espera; salas de descanso; cuartos de almacén; plataformas, cuartos de calderas.	100
Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y máquina.	Servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y pailería.	200
Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina.	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300
Distinción clara de detalles: maquilado y acabados delicados, ensamble de inspección, moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.	500
Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas.	Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies y laboratorios de control de calidad.	750
Alta exactitud en la distinción de detalles, ensamble, proceso	Proceso: ensamble e inspección de piezas	1000

e inspección de piezas complejas y acabados con pequeñas y complejas, pulidos finos. acabado con pulidos finos.

Alto grado de especialización en la distinción de detalles.	Proceso de gran exactitud. Ejecución de tareas visuales: <ul style="list-style-type: none">- De bajo contraste y tamaño muy pequeño por periodos prolongados;- Exactas y muy prolongadas, y- Muy espaciales de extremadamente bajo contraste y pequeño tamaño	2000
---	--	------

Fuente: Elaboración propia basado en STPS (2008)

NOM-028-ENER-2010. Eficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y métodos de prueba: esta norma se aplica para las lámparas de uso general para la iluminación de los sectores residencial, comercial, servicios, industrial y alumbrado público que se comercializan en México (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2016)

NOM-064-SCFI-2000. Productos eléctricos, luminarias para uso en interiores y exteriores. Especificaciones de seguridad y métodos de prueba: define los requisitos de seguridad y los métodos de prueba aplicables a las luminarias para interiores y exteriores (DOF, 2016)

Las normas anteriores representan la legislación a nivel nacional en materia de iluminación principalmente para áreas de trabajo y productos como luminarias a base de energía eléctrica, sin embargo, poco se señala con el mismo grado de preocupación los niveles adecuados de iluminación en la vivienda.

En México, la política nacional de vivienda está a cargo de la Comisión Nacional de Vivienda, la CONAVI, cuya finalidad es formular y promover “que las autoridades competentes, expidan, apliquen y mantengan en vigor y permanentemente actualizadas, disposiciones legales, normas oficiales mexicanas,

códigos de procesos de edificación y/o reglamentos de construcción” (CONAVI, 2010) para lo cual creó el Código de Edificación de Vivienda (CEV) que promueve los lineamientos generales de la edificación de vivienda en todo el país, teniendo en consideración los Reglamentos de Construcción, elaborados por los gobiernos locales.

Al respecto de la iluminación el CEV decreta que los espacios de la vivienda deben contar con los medios que aseguren la ventilación y la iluminación diurna y nocturna necesarias para sus ocupantes (CONAVI, 2010), señala que en colindancias no está permitida la ventilación e iluminación natural a través de fachadas colindantes con el predio vecino y se deben evitar las obstrucciones que puedan disminuir la capacidad de iluminación, ventilación y visibilidad de las ventanas. Se permite la iluminación natural por medio de domos o tragaluces en baño, pasillo y escalera. En estos casos, la superficie del vano libre del domo o tragaluz no debe ser menor del 5 % de la superficie del espacio.

También dentro las consideraciones generales de sustentabilidad aplicables a la vivienda, el CEV menciona el derecho al sol, el cual establece que en los terrenos contiguos al oriente, sur y poniente no se deben planear construcciones que puedan obstruir la incidencia solar que pudiese aprovechar la vivienda mediante el diseño bioclimático (CONAVI, 2010), estos acuerdos se realizan entre los propietarios de los terrenos colindantes y se integran al título de propiedad, por lo que su incumplimiento puede implicar el pago de una indemnización al afectado, para su desempeño “se constituyen comités municipales para regular el uso de suelo y sancionar los permisos creando derechos solares” (CONAVI, 2010), estos organismos tienen la capacidad de impedir el desarrollo de construcciones u obstáculos que limiten el acceso al sol de otros terrenos.

3.3.1 Reglamento de construcción del Estado de Querétaro

El Reglamento de construcción del Estado de Querétaro indica que los patios para brindar iluminación y ventilación naturales tienen que diseñarse en relación con la altura de las construcciones que los limitan y podrán estar techados por domos o cubiertas que tengan “más de 1.5 veces la dimensión mínima, transmitividad mínima del 85% en el espectro solar y un área de ventilación en la cubierta no menor al 20% del área del piso del patio” (Reglamento General de Construcciones del Estado de Querétaro, 1988, art.29).

Además, el reglamento señala que los espacios habitables deben garantizar la iluminación diurna y nocturna para sus ocupantes, a su vez determina el porcentaje mínimo para las ventanas de acuerdo con el área del local según su orientación: norte 10%, sur 12%, este 10% y finalmente 8% para el poniente. Establece como niveles de iluminación para las construcciones de tipo habitacional: 75 lux para locales habitables y de servicio y 50 lux para circulaciones horizontales y verticales (Reglamento General de Construcciones del Estado de Querétaro, 1988).

3.4 Sistemas de iluminación natural

Las estrategias para el diseño con luz natural dependen de su disponibilidad en el sitio, la cual es determinada por la latitud de la ubicación geográfica de la edificación a diseñar o en dado caso ya construida, además de que su entorno inmediato puede estar afectado por la presencia de obstrucciones. También es significativo considerar el clima y las variaciones según las estaciones del año, temperatura y probabilidad de sol durante el día, al respecto la International Energy Agency (2010) proporciona estrategias de iluminación natural para diferentes condiciones de luz natural en el sitio:

Cielo con luz difusa. Los sistemas que aportan energía solar suficiente para evitar el exceso de calor son poco adecuados para controlar el deslumbramiento, por lo que el sombreamiento es un problema para la iluminación natural, excepto en las fachadas orientadas al norte o sur.

Cielo nublado. Las estrategias deben dirigirse a distribuir la luz natural al interior de los espacios, en este caso ventanas y domos son diseñados para iluminar las habitaciones bajo condiciones de cielo nublado, las ventanas deben ser grandes y estar ubicadas en lo alto de las paredes, pero bajo condiciones de soleamiento también pueden causar ganancia térmica y deslumbramiento. Por lo tanto, son indispensables sistemas de protección solar y protección ante el deslumbramiento.

Cielo despejado. La protección solar es parte importante para la definición de estrategias, los sistemas de sombreamiento donde las ventanas dependen principalmente de la luz natural difusa son los recomendables.

Luz solar directa. En este caso la luz directa es tan brillante que la cantidad que entra por una pequeña abertura es suficiente para lograr adecuados niveles de iluminación natural en el interior de un espacio. Las estrategias de luz natural por medio de haces, guías y transporte de luz son aplicables si existe alta probabilidad de luz solar, por otro lado, las aberturas para este tipo de estrategias no permiten el contacto con el exterior por lo que es necesario combinarlas con otro tipo de aberturas.

Las estrategias descritas para la iluminación natural donde se incluye la protección solar y la protección ante el deslumbramiento varían de acuerdo con las condiciones de cielo despejado o nubosidad, aunque en todas se aprecia que existen los medios suficientes para lograr el aporte de luz solar en el interior de un espacio, y es que, es claro que no solo a través de ventanas convencionales se puede proporcionar iluminación, pues existen tecnologías y soluciones que amplían

el rendimiento de la luz solar, principalmente a través de sistemas que permiten (IEA, 2010):

- Proporcionar iluminación natural a mayores profundidades del interior de un espacio.
- Aumentar la luz del sol para climas con cielos predominantemente nublados.
- Aumentar la luz natural para climas muy soleados donde se requiere el control de la radiación solar.
- Aumentar la luz natural para ventanas que se encuentran bloqueadas por obstrucciones exteriores y, por lo tanto, tienen una vista restringida del cielo.
- Transportar luz natural a espacios sin ventanas.

Estos sistemas se dividen en dos tipos: sistemas de orientación de luz natural y sistemas de protección solar, también llamados sistemas de iluminación natural sin sombreado y con sombreado, los cuales pueden agruparse en cuatro categorías de acuerdo a la forma en que utilizan la luz natural para iluminar un espacio (Tabla 9).

Tabla 9. Categorías de sistemas de orientación de luz natural y sistemas de protección solar de acuerdo al manejo de la luz

Categoría	Descripción
Reflexión	Reflejan la radiación solar no deseada mediante revestimientos especiales.
Filtración	Filtran la radiación solar directa y el aprovechamiento de la luz difusa. En la ventana se pueden incorporar de manera fija elementos direccionadores de luz natural.
Direccionamiento y difusión	La luz solar directa se refleja hacia el falso techo para evitar deslumbramientos, son necesarios sistemas móviles para definirse según el ángulo de radiación solar.
Acumulación y distribución	Heliostatos acumulan la luz solar y la direccionan a través de espejos a un área específica.

Fuente: Elaboración propia, basada en Neufert (2014)

La Internacional Energy Agency (2010) describe los dos tipos de sistemas como sistemas con sombreamiento y sistemas sin sombreamiento:

1. Sistemas de iluminación natural con sombreamiento. En este caso se tienen dos tipos, los sistemas que dependen principalmente de la luz solar directa para dirigirla a los espacios interiores y el segundo tipo son los sistemas que dependen totalmente de la luz solar difusa rechazando la directa. Los sistemas convencionales de control solar, tales como las persianas desplegadas, por lo general disminuyen el acceso de luz natural a una habitación.

2. Sistemas de luz natural sin sombreamiento. Son diseñados para redirigir la luz del día hacia las áreas alejadas de una ventana o un tragaluz. Se dividen en:

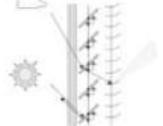
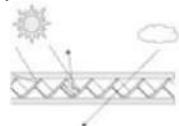
- **Sistemas de conducción de luz difusa:** Redirigen la luz solar del exterior al interior de un espacio. Para sitios con obstrucciones altas, típicas en entornos urbanos, la iluminación cenital puede ser la única fuente de luz natural por lo que sistemas de guía de luz pueden mejorar la utilización de la luz natural ante estas situaciones.
- **Sistemas de conducción de luz directa:** envían luz solar directa al interior de un espacio sin los efectos del deslumbramiento o de excesiva ganancia térmica.
- **Sistemas de dispersión de luz:** se utilizan en las aberturas cenitales para causar una distribución uniforme de la luz natural, aunque si son utilizados en ventanas verticales, se producirá un grave deslumbramiento.
- **Sistemas de transporte de luz:** captan y transportan la luz solar a largas distancias a través de fibra óptica o tubos de luz.

Las tablas siguientes (10-15) proporcionadas por la IEA (2010) enlistan los diferentes tipos de sistemas de iluminación natural, mostrando el clima para el que son adecuados y dónde son ubicados normalmente en una edificación, también se encuentra información sobre:

- Su capacidad de proteger contra el deslumbramiento
- Si permiten una vista hacia el exterior
- Si puede guiar la luz a la profundidad de una habitación
- Puede proporcionar iluminación homogénea
- Puede ahorrar el uso de energía por iluminación artificial
- Si necesitan rastreo seguir la posición del sol
- Su disponibilidad

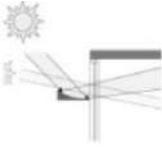
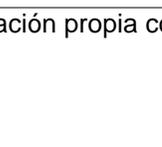
Para cada característica antes mencionada se determina si: Depende de otros factores **DEP**; cuenta con la característica descrita **SI** o **NO**; está disponible en el mercado **SI** o **NO**, o se encuentra en etapa de prueba **PR**.

Tabla 10. Sistema de iluminación natural con sombreado para luz difusa

		Nombre/Imagen	Ubicación	Características						
				Protección contra deslumbramiento	Vista exterior	Guía de luz en profundidad de la habitación	Iluminación homogénea	Potencial de ahorro	Necesidad de seguimiento solar	Disponibilidad
TODOS LOS CLIMAS		<p>Paneles prismáticos</p> 	Ventanas verticales, tragaluces	DEP	NO	DEP	DEP	DEP	DEP	SI
		<p>Sistema direccional de sombreado selectivo con elemento óptico holográfico de concentración (HOE)</p> 	Ventanas verticales, tragaluces y techos de cristal	DEP	SI	NO	DEP	SI	SI	PR
		<p>Rejillas y persianas venecianas</p> 	Ventanas verticales	SI	DEP	SI	SI	SI	SI	SI
CLIMAS TEMPLADOS		<p>Elementos de espejo de protección solar</p> 	Tragaluces y techos de cristal	DEP	NO	NO	SI	NO	NO	SI
		<p>Aberturas anidólicas cenitales</p> 	Tragaluces	SI	NO	NO	SI	SI	NO	PR
		<p>Sistema de sombreado transparente con HOE basado en la reflexión total</p> 	Ventanas verticales, tragaluces y techos de cristal	DEP	SI	NO	SI	SI	SI	SI

Fuente: Elaboración propia con tablas de IEA, 2010

Tabla 11. Sistemas de iluminación natural con sombreado para luz directa

		Nombre/Imagen	Ubicación	Características						
				Protección contra deslumbramiento	Vista exterior	Guía de luz en profundidad de la habitación	Iluminación homogénea	Potencial de ahorro	Necesidad de seguimiento solar	Disponibilidad
TODOS LOS CLIMAS		 <p>Persianas</p>	Ventanas verticales	SI	DEP	SI	SI	SI	SI	SI
		 <p>Estante para la redireccionar la luz solar</p>	Ventanas verticales, tragaluces y techos de cristal	DEP	SI	SI	SI	SI	NO	SI
		 <p>Persianas solares anidólicas</p>	Ventanas verticales	SI	DEP	SI	SI	DEP	NO	SI
		 <p>Cortina de guía de luz</p>	Ventanas verticales	SI	SI	DEP	DEP	DEP	NO	PR
CLIMAS CÁLIDOS, CIELOS SOLEADOS		 <p>Tragaluz con paneles cortados con láser</p>	Tragaluces	DEP	-	SI	SI	SI	NO	PR
		 <p>Acristalamiento con perfiles reflectantes</p>	Ventanas verticales, tragaluces	DEP	DEP	DEP	DEP	DEP	NO	SI
CLIMAS TEMPLADOS		 <p>Laminas giratorias</p>	Ventanas verticales, tragaluces	DEP	DEP	DEP	DEP	DEP	SI	SI

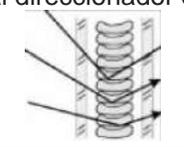
Fuente: Elaboración propia con tablas de IEA, 2010

Tabla 12. Sistemas de iluminación natural sin sombreado: Sistemas de conducción de luz difusa

	Nombre/Imagen	Ubicación	Características						
			Protección contra deslumbramiento	Vista exterior	Guía de luz en profundidad de la habitación	Iluminación homogénea	Potencial de ahorro	Necesidad de seguimiento solar	Disponibilidad
CLIMAS TEMPLADOS	 <p>Sistema pescado</p>	Ventanas verticales	SI	DEP	SI	SI	SI	NO	SI
	 <p>Sistema anidólico integrado</p>	Ventanas verticales	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI
	 <p>Estante de luz</p>	Ventanas verticales	DEP	SI	DEP	DEP	DEP	NO	SI
CLIMAS TEMPLADOS, CIELOS NUBLADOS	 <p>Techo anidólico</p>	Fachada vertical por encima de la ventana	-	SI	SI	SI	SI	NO	PR
	 <p>Elementos guía para luz cenital con HOEs</p>	Ventanas verticales (patios), tragaluces	-	SI	SI	SI	SI	NO	SI

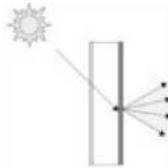
Fuente: Elaboración propia con tablas de IEA, 2010

Tabla 13. Sistemas de iluminación natural sin sombreado: Sistemas de conducción de luz directa

		Nombre/Imagen	Ubicación	Características							
				Protección contra deslumbramiento	Vista exterior	Guía de luz en profundidad de la habitación	Iluminación homogénea	Potencial de ahorro	Necesidad de seguimiento solar	Disponibilidad	
TODOS LOS CLIMAS		Panel de corte por láser	Ventanas verticales, tragaluces	NO	SI	SI	SI	SI	NO	PR	
		Paneles prismáticos	Ventanas verticales, tragaluces	DEP	DEP	DEP	DEP	DEP	-	SI	
		HOEs en claraboyas	Claraboyas	DEP	SI	SI	SI	SI	NO	SI	
	<i>Holographic Optical Elements</i>										
		Cristal direccionador de luz	Ventanas verticales, claraboyas	DEP	NO	SI	SI	SI	NO	SI	

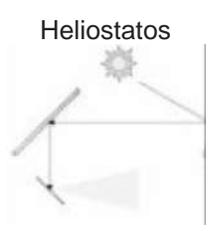
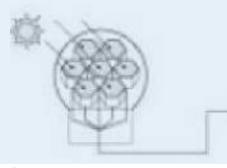
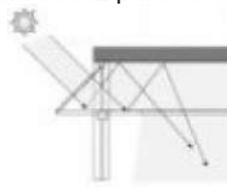
Fuente: Elaboración propia con tablas de IEA, 2010

Tabla 14. Sistemas de iluminación natural sin sombreado: Sistemas de dispersión de luz

		Nombre/Imagen	Ubicación	Características						
				Protección contra deslumbramiento	Vista exterior	Guía de luz en profundidad de la habitación	Iluminación homogénea	Potencial de ahorro	Necesidad de seguimiento	Disponibilidad
TODOS LOS CLIMAS			Ventanas verticales, tragaluces	NO	NO	SI	SI	DEP	NO	SI

Fuente: Elaboración propia con tablas de IEA, 2010

Tabla 15. Sistemas de iluminación natural sin sombreado: Transporte de luz

	Nombre/Imagen	Ubicación	Características						
			Protección contra deslumbramiento	Vista exterior	Guía de luz en profundidad de la habitación	Iluminación homogénea	Potencial de ahorro	Necesidad de seguimiento solar	Disponibilidad
TODOS LOS CLIMAS, CIELOS SOLEADOS	Heliostatos 		-	-	SI	SI	SI	SI	SI
	Tubos de luz 		-	-	SI	SI	SI	NO	SI
	Tubo solar 	Techo	-	-	SI	DEP	SI	NO	SI
	Fibras 		-	-	SI		SI	SI	SI
	Guía de luz para el techo 		-	-	SI	SI	SI	NO	PR

Fuente: Elaboración propia con tablas de IEA, 2010

Los sistemas sombreados son los que tienen un mayor acercamiento a las características que persigue la investigación, de manera que se han seleccionado aquellos dirigidos a climas soleados como lo es el clima del municipio de Querétaro, con ubicación preferente en el techo, ya que como se analizó la luz cenital proporciona mayor claridad y aprovechamiento de la radiación solar, a su vez pueden proyectarse sistemas como estos en lugares donde por su entorno no puedan tener una ventana vertical, para lo que también se consideró contarán con guía de luz para que lleguen a espacios más profundos, por último se revisó su disponibilidad y su potencial de ahorro.

Sin embargo, como se señaló en los antecedentes del presente estudio, su costo es alto por lo que solo se tomarán los conocimientos más relevantes sobre su funcionamiento para el desarrollo del sistema de iluminación natural de bajo costo adaptado a las condiciones de la vivienda popular mexicana, teniendo en específico la vivienda queretana que se ve afectada por la problemática planteada.

3.4.1 Análisis de los sistemas seleccionados comerciales y sus variaciones

Sistemas activos

Himawari. Está compuesto por un sensor solar, un motor de pasos y un conjunto de lentes de fresnel que dirige la luz a través de fibra óptica (Figura 7). Beneficios: Tiene un máximo aprovechamiento de la luz solar y posee una tipología de emisión similar a la de las luminarias eléctricas. Inconvenientes: Su tecnología y mantenimiento son de costo muy elevado, además requiere de un consumo eléctrico. Aplicaciones: Espacios interiores, acuarios, cultivos interiores, spots, iluminación comercial, entre otros (Ferrón, Pattini, & Lara, 2005).



Figura 7. Sistema Himawari. Fuente: (Campabada, Pérez, Zamora, & Zamora, 2013)

Solaris. Es una cúpula acrílica conformada por láminas internas giratorias y un espejo redireccionador integrado al sistema (Figura 8). Beneficios: Logra un máximo aprovechamiento de la luz solar puesto que funciona como un reflector protegido, además es de fácil instalación. Inconvenientes: Su tecnología y mantenimiento es de costo elevado y por sus características tiene un alto nivel de exposición vandálica. Aplicaciones: Espacios interiores, acuarios, cultivos interiores, iluminación comercial, entre otros (Ferrón et al., 2005).



Figura 8. Sistema Solaris. Fuente: Ferrón et al. (2005)

Ciralight. Se compone por espejos reflectores con un controlador autoprogramado para conocer la posición exacta del sol, tiene un ángulo de 10° sobre el horizonte e introduce la luz a través de lentes difusores (Figura 9). Beneficios: Logra un aprovechamiento de la luz del sol de 9.2 horas hasta 13 horas con un nivel de iluminación constante, los reflectores están bajo protección. Inconvenientes: Necesidad de mantenimiento de piezas móviles y genera un consumo eléctrico. Aplicaciones: Usos industrial, edificios de oficinas y educativos, iluminación comercial y en hospitales (Campabada et al., 2013).



Figura 9. Sistema Ciralight. Fuente: Campabada et al. (2013)

Parans. Es un fotosensor que sigue la trayectoria del sol durante el día (Figura 10), está compuesto por cables de fibra óptica que dirigen la luz hasta las luminarias interiores, hace una combinación de la luz solar y luces LED y puede tener una trayectoria de la luz de hasta 200m (Campabada et al., 2013).



Figura 10. Sistema Parans. Fuente: Campabada et al. (2013)

Sistemas pasivos

Solatube. Es una cúpula acrílica conformada por una pantalla reflectora interna que dirige la luz por un conducto altamente reflectivo (Figura 11). Beneficios: Es rígido estructuralmente y es de fácil instalación. Inconvenientes: Su rendimiento es moderado y la distancia de transporte de luz es corta. Aplicaciones: Uso residencial, espacios interiores, iluminación comercial, entre otros (Ferrón et al., 2005).



Figura 11. Sistema Solatube. Fuente: Everlux, S.A. de C.V. (2005)

Deplosun. Se compone por una cúpula ubicada en la azotea la cual se conecta a un conducto de alta reflectividad que transfiere la luz natural hacia el interior del espacio (Figura 12). Beneficios: Posee rigidez estructural y es de fácil instalación. Inconvenientes: Su rendimiento es moderado y la distancia de transporte de luz es corta. Aplicaciones: Uso residencial, espacios interiores, iluminación comercial, etc. (Espacio solar, s.f.)



Figura 12. Sistema Deplosun. Fuente: Espacio solar (s.f.)

Patios reflectantes. Es un sistema de reflectores de luz (Figura 13) que capta los rayos del sol en la parte superior del patio y los dirige hacia su interior aportando luz a los espacios contiguos. Aplicaciones: Uso exterior (Espacio solar, s.f.).



Figura 13. Sistema de patios reflectantes. Fuente: Espacio solar (s.f.)

IV. DESARROLLO

4.1 Estudio del sitio

La disponibilidad de luz natural en un sitio específico depende de su latitud, clima, calidad del aire, estación del año y periodo del día (Instituto para la diversificación y ahorro de la energía [IDAE], 2005), por lo tanto, la cantidad de luz natural incidente se modifica en relación a las variables anteriores afectando la intensidad y duración de la luz natural, por tal motivo es necesario un análisis del lugar donde se determinarán las estrategias de iluminación natural.

4.1.1 Análisis del entorno

El municipio de Querétaro se ubica entre los paralelos 20° 30' y 20° 56' de latitud norte; los meridianos 100° 17' y 100° 36' de longitud oeste; y con una altitud entre los 1700 y 2800m; colinda al norte con el estado de Guanajuato y el municipio de El Marqués; al este con el municipio de El Marqués; al sur con los municipios de Huimilpan, Corregidora y el estado de Guanajuato y finalmente al oeste con el estado de Guanajuato (INEGI, 2010). La Tabla 15 muestra los valores promedio de las principales condiciones climáticas para el municipio.

Tabla 16. Condiciones climáticas del municipio de Querétaro

Condición	Cantidad	Unidad
Temperatura promedio anual	18.9	C
Temperatura máxima promedio anual	26.5	C
Temperatura mínima promedio anual	11.2	C
Precipitación promedio anual	528	mm
Promedio de días con lluvia	60.7	Días
Duración promedio anual del día	12.5	Horas
Promedio anual de días con niebla	2.2	Días
Promedio anual de radiación solar diaria: global	18.7	Mj/m ²
Promedio anual de radiación solar diaria: difusa	6.5	Mj/m ²
Promedio anual de radiación solar diaria: reflejada	19.6	Mj/m ²
Promedio anual de radiación solar diaria: directa	19.2	Mj/m ²

Fuente: Elaboración propia basada en Weatherbase (2017)

4.1.2 Disponibilidad lumínica solar

Las estrategias de aporte lumínico para el diseño y aprovechamiento de la luz solar en espacios interiores dependen de la disponibilidad de la luz natural, de las condiciones de iluminación que existen en el interior de los espacios, las obstrucciones que bloquean el acceso de la luz, las construcciones colindantes y la topografía del terreno que puede modificar la cantidad de luz a ciertas horas del día.

La siguiente gráfica muestra el porcentaje de días nublados y soleados (Figura 14) para el municipio de Querétaro donde se observa gran disponibilidad lumínica en un 82% a lo largo del año.

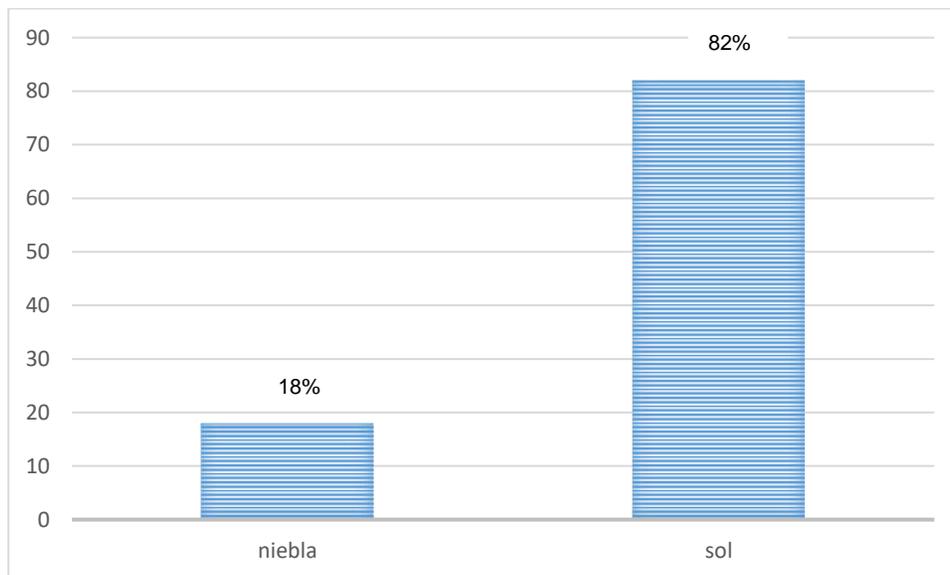


Figura 14. Porcentaje de días nublados y soleados en el año para el municipio de Querétaro. Fuente: Whaterbase.com

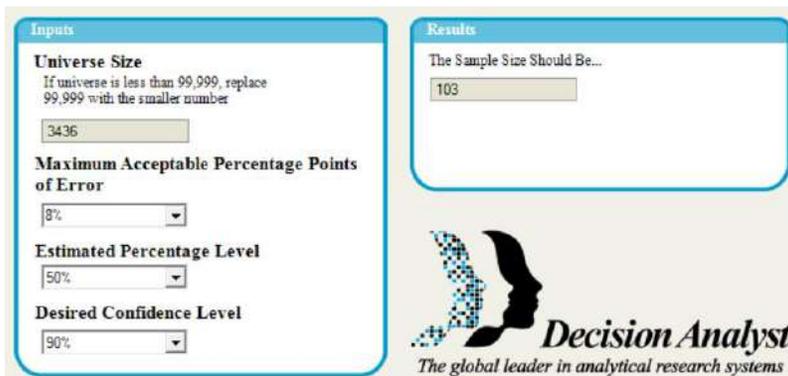
La ubicación de la ciudad de Querétaro le permite una gran disponibilidad de la radiación solar a diferencia de otras ciudades ubicadas al norte o sur del continente, y no sólo Querétaro posee esta ventaja, ya que, nuestro país se ve ampliamente favorecido en relación con una alta incidencia de radiación solar en gran parte del territorio, debido a su cercanía con el Ecuador, en promedio tiene valores de 5 a 6 kWh/m² día durante el verano (Tejeda & Gómez, 2015).

4.2 Estudio de campo

En materia de conocer el panorama actual de la problemática, se determinó como unidad de análisis la vivienda popular del municipio de Querétaro al ser esta una de las de mayor demanda según la CONAVI (2010), de este modo para la delimitación de la población, definida como “el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones” (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014) se definió una población que comprende a todos aquellos habitantes de vivienda de tipo popular ubicada en el municipio de Querétaro. La cual corresponde a 3,436 viviendas según la clasificación de vivienda en Querétaro por la CONAVI para el año 2017, y cuyas características fueron abordadas en el tema tipología de la vivienda queretana del segundo capítulo de la presente investigación.

4.2.1 Selección de la muestra

La selección de la muestra, se basó en el tipo de muestreo probabilístico a partir del número total de viviendas populares del municipio de Querétaro, de este modo se garantiza que todos los elementos de la población están en igual posibilidad de ser elegidos. Por medio de la aplicación STATS™ (Figura 15), se obtuvo que 103 son el número de viviendas de tipo popular que se necesitan para tener representadas a las 3,436 del municipio de Querétaro, con 90% de confianza y 8% de error máximo.



The screenshot shows the STATS application interface. On the left, under 'Inputs', there are three fields: 'Universe Size' with a value of 3436, 'Maximum Acceptable Percentage Points of Error' set to 8%, and 'Desired Confidence Level' set to 90%. On the right, under 'Results', the 'The Sample Size Should Be...' field shows a value of 103. At the bottom right, there is a logo for 'Decision Analyst' with the tagline 'The global leader in analytical research systems'.

Tamaño del universo: 3,436
Error máximo aceptable: 8%
Porcentaje estimado de la muestra: 50%
Nivel de confianza deseado: 90%

Figura 15. Obtención de muestra probabilística de las viviendas de tipo popular en el municipio de Querétaro por medio de la aplicación STATS™

El instrumento de recolección de datos se realizó por medio de cuestionario aplicado a la población muestra (Anexo 1), y a partir de los resultados se determinó una muestra no probabilística basada en las características de la investigación, ya que “en muestras de este tipo la elección de los casos no depende de que todos tengan la misma posibilidad de ser elegidos, sino de la decisión de un investigador o grupo de personas que recolectan los datos” (Hernández et al., 2014, p.190).

De tal forma que la muestra no probabilística son aquellas viviendas de tipo popular del municipio de Querétaro que cuentan con espacios interiores con escasa o nula iluminación natural, la cual participó en la realización del pronóstico de aceptación descrito en la sección correspondiente.

4.2.2 Recolección y análisis de datos

El cuestionario (Anexo 1) consta de 12 preguntas cerradas de opción múltiple y se realizó en 38 colonias del municipio de Querétaro a los habitantes de vivienda popular, los nombres de las colonias se enlistan a continuación:

- | | |
|-------------------------|------------------------|
| 1. Los Olivos | 20.Loma 9 |
| 2. Misión San Carlos | 21.La Capilla |
| 3. Lomas de Casa Blanca | 22.La Cañada |
| 4. Candiles | 23.Cerrito Colorado |
| 5. Reforma Agraria | 24.Sauces |
| 6. San Pedrito Peñuelas | 25.Insurgentes |
| 7. Desarrollo San Pablo | 26.Satélite |
| 8. Lomas del Carmen | 27.José María Arteaga |
| 9. El Rocío | 28.El Retablo |
| 10.Puertas del Sol II | 29.Rancho Bellavista |
| 11.Los faroles | 30.Las Américas |
| 12.Rincones del Marqués | 31.Quintas del Marques |
| 13.Puerta Navarra | 32.Viñedos |

- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| 14. Pueblito | 33. Unidad Nacional |
| 15. Sonterra | 34. Niños héroes |
| 16. Hércules | 35. Villas de la piedad |
| 17. Primero de mayo | 36. Galindas |
| 18. Las campanas | 37. Centro |
| 19. San Pedrito los arcos | 38. Villas de Santiago |

Los datos conseguidos se capturaron y analizaron utilizando el programa Excel 2010, de acuerdo con las personas encuestadas, se obtuvieron los siguientes resultados:

Dentro de las características generales de la vivienda se encontró que el 70% de las viviendas son propias, el 26% rentadas y el 3% prestadas (Figura 16), además el tiempo de ocupación en ellas en su mayoría es por más de 5 años en un 68% (Figura 17), lo que representan datos importantes para que el dueño de la vivienda haga modificaciones en la misma, invierta o se preocupe por su bienestar dentro de ella.

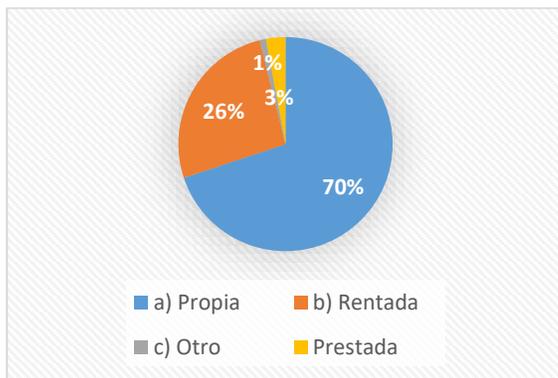


Figura 16. Estado de adquisición de la vivienda. Fuente: Elaboración propia.

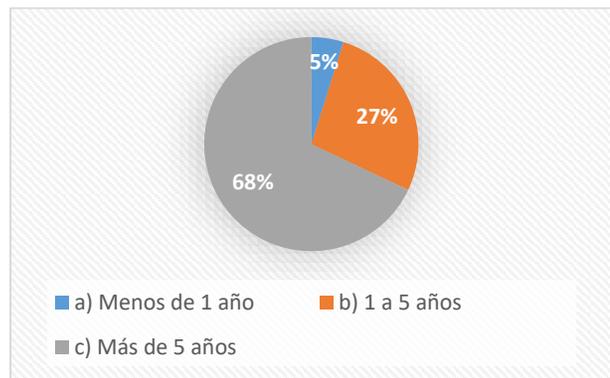


Figura 17. Tiempo que tiene viviendo en la propiedad Fuente: Elaboración propia.

De las personas encuestadas en 49% mencionó no contar con algún espacio al interior de su vivienda donde la iluminación fuera escasa o nula, mientras que el 51% argumentó presentar la situación (Figura 18). Este dato podría considerarse como el más importante para determinar la necesidad sistemas de conducción y transporte de luz natural, sin embargo, que presenten el problema no implica que sean afectados en algún sentido, por lo cual solo queda demostrado

que más de la mitad de las viviendas de la población muestra presentan algún espacio donde la iluminación natural no es suficiente.

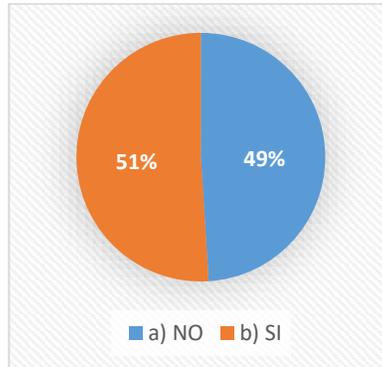


Figura 18. Porcentaje de viviendas con espacios carentes de luz natural. Fuente: Elaboración propia.

Para el 51% de las viviendas que presentaron esta situación se dio seguimiento con preguntas relacionadas a la cantidad de habitaciones afectadas (Figura 19), donde se detectó que el rango va desde una habitación hasta casos excepcionales que llegan a tres y a cinco. El espacio con mayor problema fue la recámara, seguido de la cocina, baño, y comedor (Figura 20).

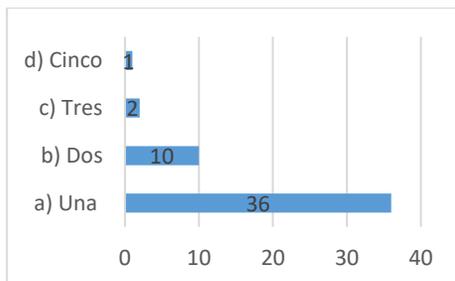


Figura 19. Cantidad de habitaciones afectadas al interior de una vivienda que presenta el problema. Fuente: Elaboración propia.

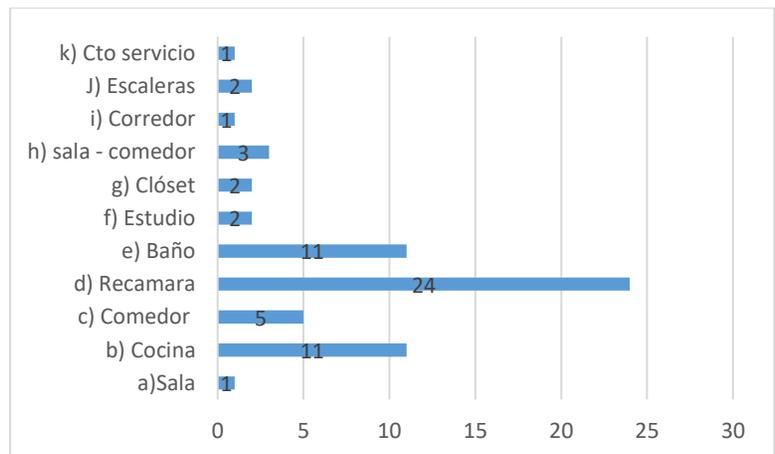


Figura 20. Espacios con mayor problema de las viviendas afectadas. Fuente: Elaboración propia.

Debido a que la iluminación natural no es suficiente se tiene que recurrir a la iluminación artificial durante el día, por lo que se valoró el tiempo en que las luces permanecen encendidas en las habitaciones sin iluminación natural suficiente (Figura 21), comparándolo con el tiempo en que el usuario permanece en ese espacio (Figura 22). En ambos casos se observa que la mayoría tiene la luz

encendida y permanece en la habitación de 31 minutos a 3 horas, donde además puede apreciarse comparando ambas gráficas que, aunque menor cantidad de usuarios permanecen en la habitación, hay más usuarios que dejan la luz encendida durante este periodo de tiempo.

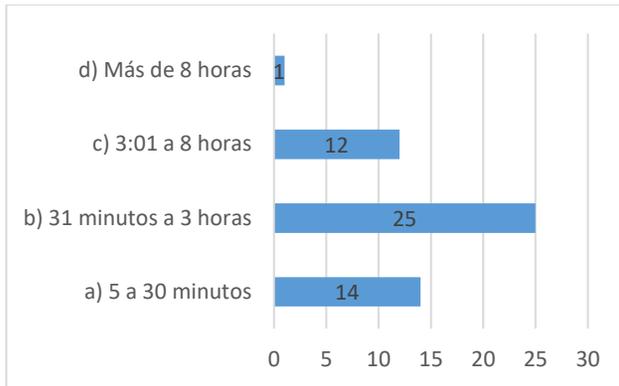


Figura 21. Tiempo en que las luces están encendidas durante el día. Fuente: Elaboración propia.

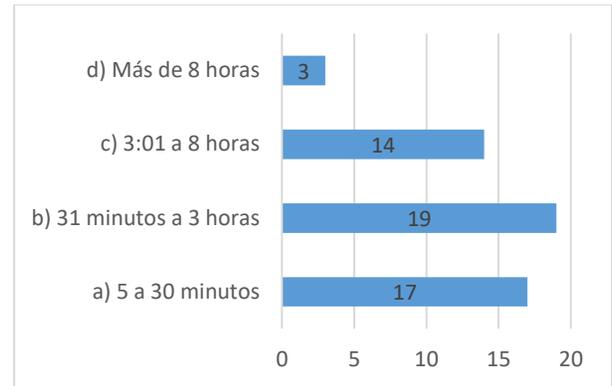


Figura 22. Tiempo en que el usuario permanece en la habitación afectada. Fuente: Elaboración propia.

Para los encuestados que presentan habitaciones con deficiente iluminación natural, el motivo principal al que aluden esta situación es por modificación en la vivienda (autoconstrucción) en primer lugar, seguido de sombreamientos no deseados (Figura 23), además señalaron otros motivos como el tamaño muy pequeño de ventanas existentes, ausencia de ventanas, y la mala planeación o diseño de la construcción.

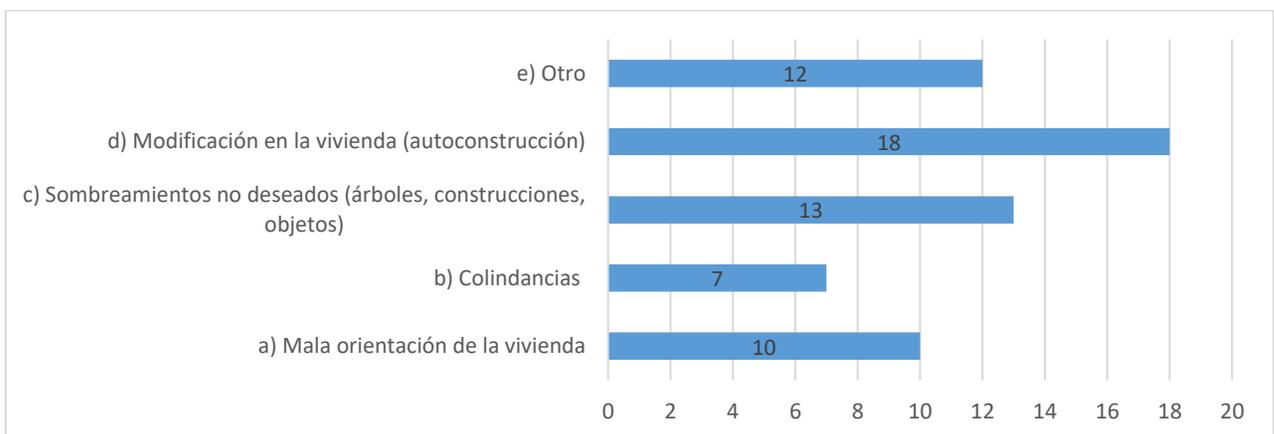


Figura 23. Motivos por los que no se cuenta con suficiente iluminación natural según el usuario. Fuente: Elaboración propia.

Entre los sistemas de iluminación que el total de los encuestados conoce además de las ventanas indicaron los domos y tragaluces como los más populares, solo 21 conocen los tubos de luz solar y 8 no tienen conocimiento sobre ninguno de los sistemas mencionados (Figura 24). Algunos indicaron conocer otros sistemas como los vitrales, el vitrobloc, y las claraboyas.

De los 103 encuestados 49 afirmaron tener alguno de los sistemas mencionados instalados en su vivienda (Figura 25), de los cuales 26 son domos, 22 son tragaluces y 1 es vitrobloc. El sistema de iluminación mayormente instalado es el domo.

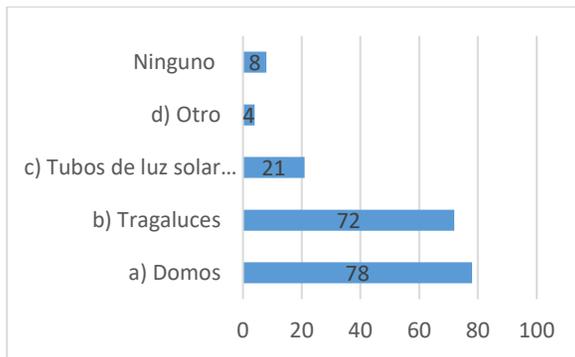


Figura 24. Sistemas de iluminación natural que el encuestado conoce. Fuente: Elaboración propia.

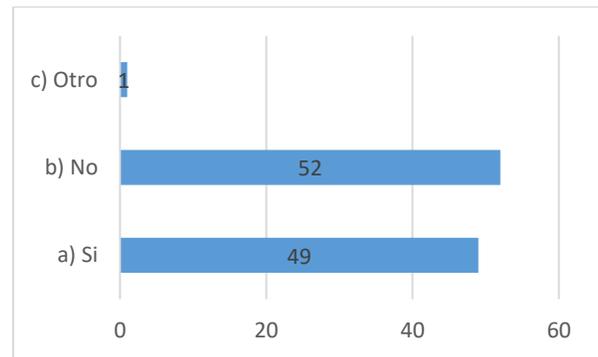


Figura 25. Personas encuestadas que tienen instalado algún sistema de iluminación natural al interior de su vivienda. Fuente: Elaboración propia.

Al preguntarles a los encuestados cuánto estarían dispuestos a pagar por un sistema de iluminación natural para las habitaciones que no la tienen la mayoría indicó que pagaría de \$1,001.00 a \$3,000.00 pesos (Figura 26).

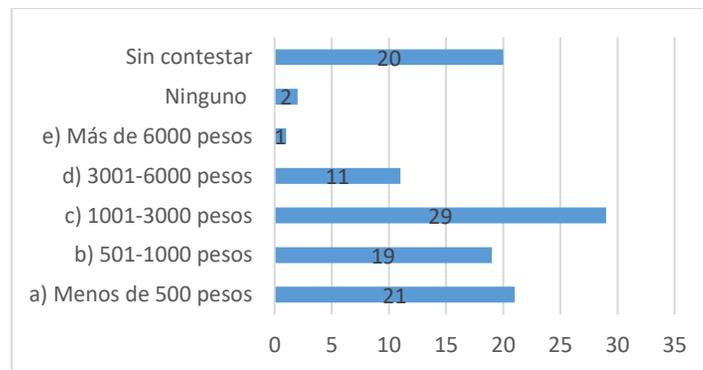


Figura 26. Cantidad que los encuestados estarían dispuestos a pagar por un sistema de iluminación natural. Fuente: Elaboración propia.

La mayoría de los encuestados (49 personas) registró la cantidad de \$100.00 a \$300.00 como su gasto por consumo de energía eléctrica bimestral (Figura 27).

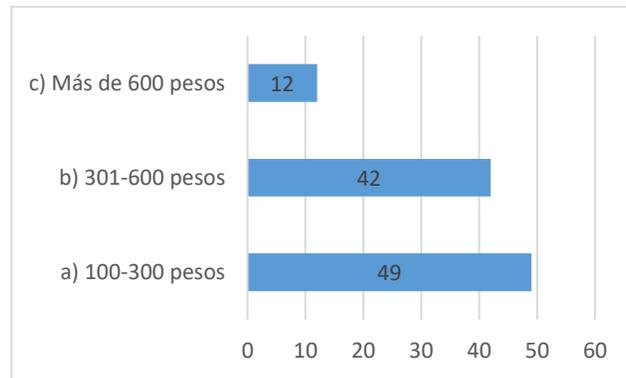


Figura 27. Gasto bimestral de los encuestados por consumo de energía eléctrica. Fuente: Elaboración propia.

Para los encuestados el tener espacios sin iluminación natural representa principalmente un gasto monetario, incomodidad al tener que prender la luz durante el día y desagrado por permanecer en ese espacio (Figura 28). Por lo que estas afirmaciones sí confirman la presencia de un problema por el que se ven afectados los ocupantes de una vivienda que posee algún espacio sin suficiente iluminación natural, motivo por el cual tienen que encender la luz durante el día para poder llevar a cabo sus actividades en tal espacio.

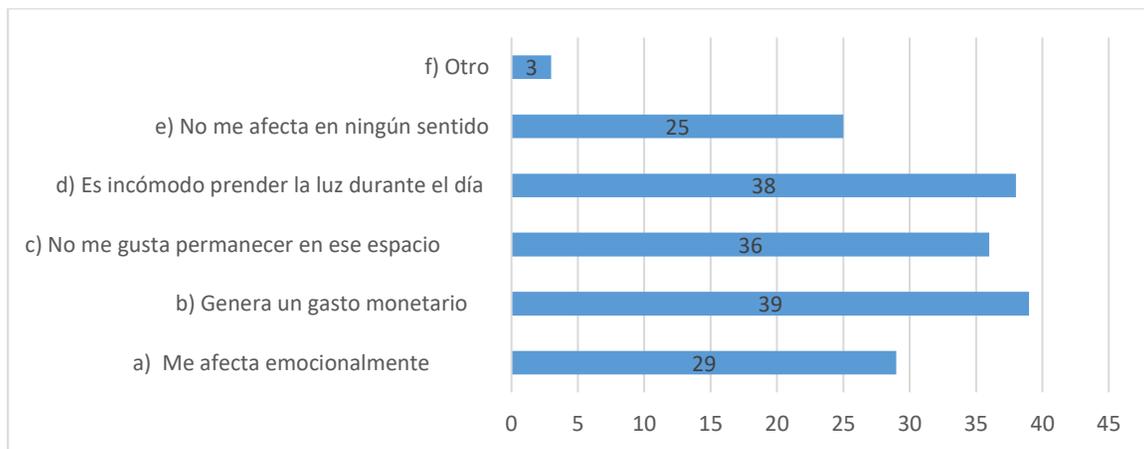


Figura 28. Afectación para los encuestados al tener espacios sin luz natural. Fuente: Elaboración propia.

4.3 Desarrollo experimental

Como se ha hecho énfasis a lo largo de la investigación, las limitaciones principales del diseño con luz natural son las relacionadas con su transporte y regulación desde su fuente exterior hasta el interior del espacio a iluminar, dependiendo también de factores meteorológicos y del entorno físico además de la correcta planeación de las aberturas.

Teniendo como meta garantizar una adecuada iluminación interior en aquellos espacios con escasa iluminación natural se determinó el diseño de un sistema de conducción de luz que responda a las necesidades de la población de la vivienda popular de Querétaro.

El proceso experimental comienza con el diseño del sistema de iluminación basado en el estudio teórico realizado, en seguida se contemplan los criterios de selección de los materiales a utilizar y la aplicación del análisis solar correspondiente al sitio de estudio, el cual se incluye en el proceso de diseño y adaptación de los materiales, para lo cual se fabricaron varios prototipos a escala que fueron evaluados para finalmente concluir con la fabricación del prototipo final, la Figura 29 muestra los pasos llevados a cabo durante el proceso, en el cual se tuvo que regresar a pasos anteriores de acuerdo con resultados preliminares observados en las pruebas y evaluaciones con el objetivo de llegar a un resultado final.

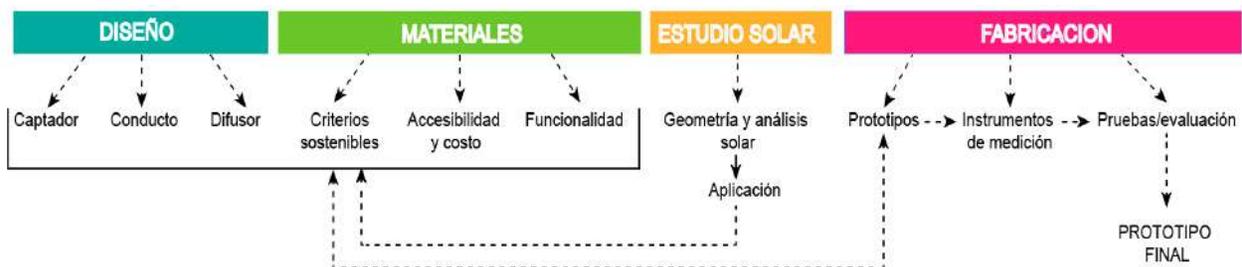


Figura 29. Diagrama del desarrollo experimental. Fuente: Elaboración propia.

4.3.1 Diseño del sistema de iluminación natural

El sistema para redireccionar la luz natural hacia áreas donde ésta no puede llegar, basa su funcionamiento en la conducción y transporte de luz directa que procura evitar deslumbramientos y tener excesiva ganancia térmica, el cual cuenta con tres componentes esenciales:

Captador: Es el encargado de captar de manera eficiente la luz natural y dirigirla hacia el conducto de luz, puede conformarse por un espejo, lentes fresnel, placas prismáticas o una cúpula o cubierta transparente.

Conducto de luz: Transfiere la luz del sol hacia el interior del espacio a iluminar, los rayos lumínicos viajan a través del conducto en sucesivas reflexiones hasta llegar al difusor, puede ser un tubo metálico o prismas para guiar la luz.

Difusor: Se encarga de la distribución uniforme con una superficie interna altamente reflexiva, fibras ópticas, tubos de acrílico sólido de la luz al interior del espacio a iluminar, puede ser plásticos, de cristal o metálicos.

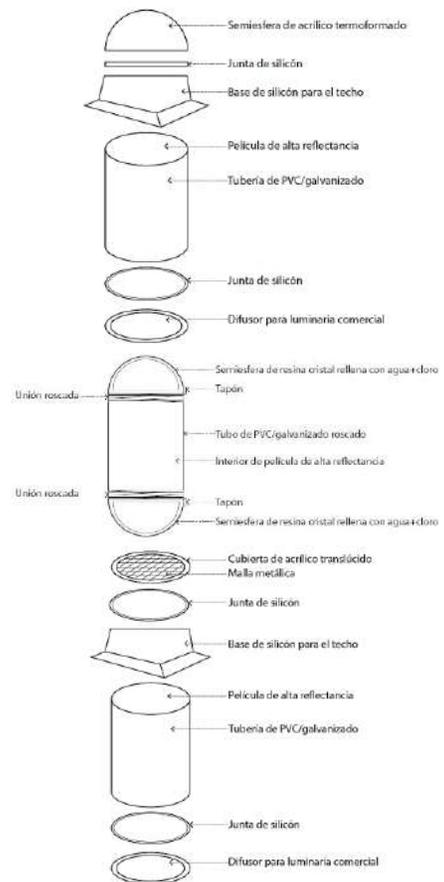


Figura 30. Bocetos iniciales de los prototipos de sistema de iluminación natural. Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Materiales y criterios de selección

Los prototipos iniciales fueron evaluados en cuanto a su funcionamiento y efectividad con diferentes materiales y variaciones morfológicas, también tomando en cuenta su correspondencia con:

Criterios sostenibles. El diseño del sistema de iluminación natural debe plantearse en la medida de lo posible bajo estrategias sostenibles, de esta manera se logrará no solo un producto donde su función por sí mismo sea el ahorro de energía, sino que desde sus etapas de desarrollo pueda ser un producto de bajo impacto ambiental. Por lo tanto, los criterios de selección de materiales deben enfocarse en:

- Reducir al mínimo el uso de recursos
- Elegir recursos y procesos de bajo impacto ambiental
- Optimizar la vida del producto
- Extender la vida de los materiales
- No representar un riesgo para la salud humana y el medio ambiente
- Sean compatibles con estrategias sostenibles

Estos criterios deben ser considerados en el ciclo de vida del sistema o producto, el cual “considera al producto a partir de la extracción de los recursos necesarios para la producción de los materiales que lo componen, hasta el último tratamiento del material que lo integra después de su uso” (Vezzoli y Manzini, 2015) en las fases de preproducción, producción, distribución, uso y disposición.

Accesibilidad y costo. Al tomar en cuenta los criterios sostenibles anteriores se unen los beneficios económicos con los ambientales y es que la utilización de menos materias primas y la reutilización de materiales como materia prima para nuevos productos representa un ahorro de los recursos vírgenes y de su costo.

Al utilizar materiales y productos regenerados o con mayor potencial de reciclaje se puede minimizar el uso de materiales y productos totalmente nuevos. También con el uso materiales de accesibilidad local se puede evitar la gestión del transporte a gran distancia, procurando el ahorro que implica esta actividad.

Funcionalidad. Los criterios de selección de los materiales están basados en el logro de la mayor eficiencia del sistema, teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Aporte lumínico
- Ganancias térmicas al interior
- Niveles de iluminación aceptables

A continuación, se describen en la Tabla 17 los materiales seleccionados para la realización de los prototipos a realizados a escala.

Tabla 17. Características de los materiales utilizados - preselección

Componente	Material	Características	Imagen
Captador	Cúpula transparente acrílica Ø10cm.	La resistencia del acrílico (metacrilato de metilo PMMA) es superior a la del vidrio. Su tasa de transmisión de luz es de 92%. Su peso corresponde al 50% del peso del vidrio, Resistente a la mayoría de sustancias. Resiste a la intemperie: exposición a radiación solar intensa, frío extremo, cambios súbitos de temperatura. Su reciclaje implica el uso de productos petroquímicos por lo que es caro.	
	Cúpula transparente de cristal Ø10cm.	El vidrio es un material amorfo frágil, transparente y se compone principalmente por silicio. Refleja la luz con mayor facilidad que el acrílico por lo que puede crear mayores deslumbramientos o reflejos. Es más barato que el acrílico. Tiene el doble de densidad que el acrílico por lo que pesa más. Puede ser reciclado varias veces de manera económica.	
	Cubierta circular plana acrílica de Ø10cm.	Características del acrílico, antes mencionadas.	

	Cubierta elíptica de acrílico	Características del acrílico.	
	Cubierta elíptica de cristal	Características del cristal.	
Conducto	Cilindro reciclado de aluminio reflectante de Ø10cm.	El aluminio tiene un peso ligero, buena resistencia a la corrosión y conductividad térmica y eléctrica elevada. Tiene una alta reflectividad de la luz y el calor. Reflectividad de 85%. Posee resistencia a bajas temperaturas, a la fatiga y al desgaste Se recicla fácilmente de forma económica.	
	Placa de aluminio cal. 26	Características del aluminio.	
	Película plástica color plata	Altamente reflectante.	
	Película autoadherible termoplástica Mylar	Es una película de poliéster altamente reflectante. Reflectividad de 92-97%. También refleja la energía térmica.	
Difusor	Difusor plástico de biopolímero PLA	El ácido poli láctico es un polímero biodegradable. Se fabrica a partir de recursos renovables como el maíz o el trigo. Es resistente a la humedad. Resistencia térmica entre 60-70°C	
	Placa circular de polipropileno Ø10cm.	Es un material termoplástico, incoloro y muy ligero. Resistente a los agentes químicos y disolventes a temperatura ambiente. Es un material fácil de reciclar. Posee alta resistencia al impacto.	

Aislante	Placa de corcho de 4mm	<p>Aislante orgánico resistente a las lluvias, sequías y altas temperaturas.</p> <p>Es impermeable al agua y otros líquidos.</p> <p>Buen aislamiento acústico y térmico.</p> <p>Es apropiado para los ambientes húmedos.</p> <p>Posee una durabilidad ilimitada y gran resistencia a los agentes químicos, es un material ignífugo.</p> <p>Tiene baja conductividad térmica.</p> <p>Es un recurso natural renovable, reutilizable y reciclable, como residuo es totalmente biodegradable.</p> <p>Tiene un alto costo pues su fabricación se realiza solo en la península Ibérica.</p>	
Elementos de sujeción	Anillo plástico Espuma de vinilo autoadhesiva	<p>La cinta de espuma de vinilo es impermeable y resistente a la intemperie, se ajusta a diferentes superficies.</p>	

Fuente: Elaboración propia, basada en datos de Velázquez (2016), información de materiales e imágenes obtenidas de akriform.se, tienda.casarex.net, www.acrilico-y-policarbonato.com, www.ehowenespanol.com, tablaperiodica.uca.es, <http://www.eis.uva.es>, www.certificadosenergeticos.com, articulo.mercadolibre.com

4.3.3 Estudio de la inclinación solar e implementación en el prototipo

Para el diseño del sistema se tiene como objetivo alcanzar mayor rango de captación lumínica en función de la geometría solar correspondiente a la latitud y longitud geográfica, atendiendo por supuesto las capacidades tecnológicas en la región y conservando el concepto de sistema pasivo.

En la carta estereográfica de Querétaro (Figura 31), mejor conocida como geometría solar se puede apreciar la trayectoria del sol en diferentes épocas del año. El centro representa el punto de observación y la circunferencia el horizonte, las curvas sobre el eje vertical corresponden a la trayectoria del sol por mes, tres de las cuales destacan de las demás donde la más cercana al centro corresponde al solsticio de verano, la intermedia a los equinoccios y la última al solsticio de invierno.

Las curvas de las horas van desde las 7 am hasta las 19 horas, por lo que se puede observar que la duración de la luz solar es mayor en el solsticio de verano que en el de invierno, asimismo el sol alcanza el cenit en el día del solsticio de verano y durante el resto del año se ubica al sur.

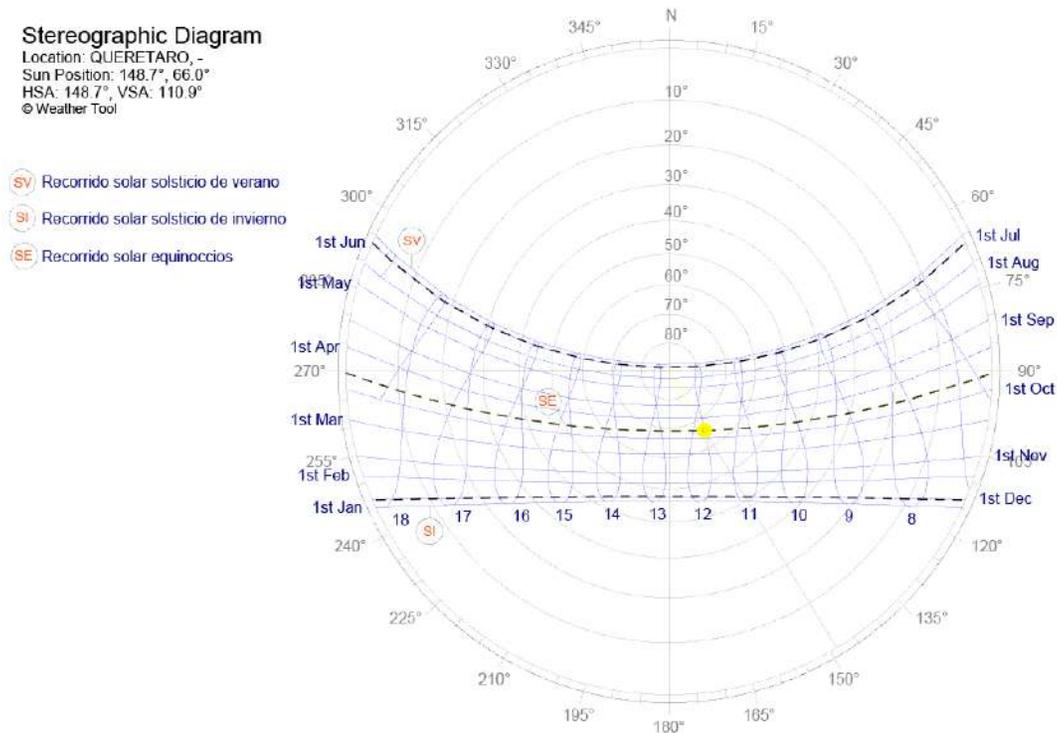
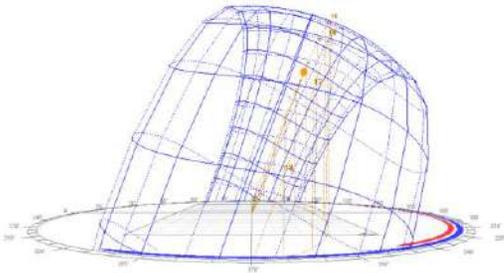
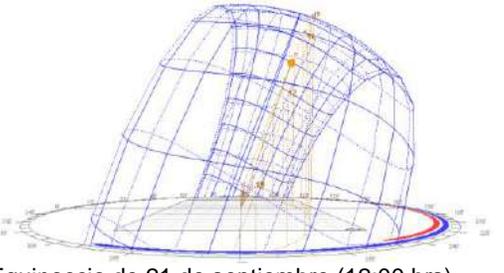
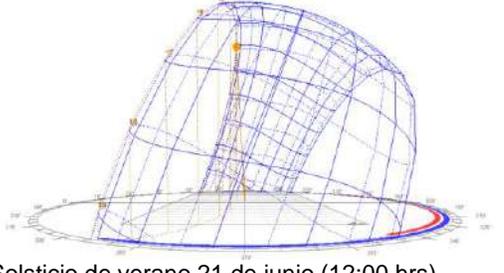
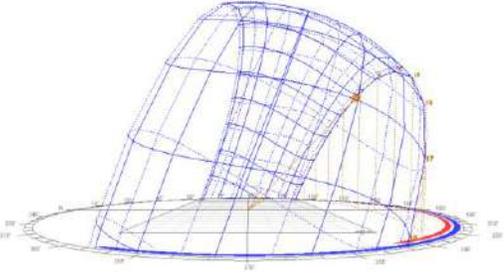


Figura 31. Carta estereográfica de Querétaro. Fuente: Elaboración propia mediante Ecotect (2011)

En la Tabla 18 se muestra la posición solar durante los días de los equinoccios y solsticios para la latitud de 21.30°N y longitud 100.17°O correspondiente a Querétaro, de acuerdo a la hora del día se tiene una variación en inclinación solar, en los días de los equinoccios (21 de marzo y 21 de septiembre) las elevaciones a lo largo del día son iguales para ambas fechas, teniendo una elevación al medio día de 70° mientras que en los días de los solsticios (21 de junio y 21 de diciembre) se puede notar significantes variaciones en cuanto a la elevación solar a lo largo del día, para el día del solsticio de verano se tiene una elevación al mediodía de casi 90° (86.8°), es decir el cenit, la máxima elevación solar en todo el año, por otro lado el día del solsticio de invierno el sol alcanza una elevación de 46° la cual es la más baja del año.

Asimismo, durante el solsticio de invierno se tiene menor cantidad de horas de luz en el día (10:54 hrs) contrario a lo que sucede durante el solsticio de verano donde se tiene la mayor cantidad de horas de luz (13:21). Cabe destacar que Querétaro dispone de un promedio anual de 12 horas de luz por día, sin embargo, es fundamental considerar las horas según la afectación de la trayectoria del sol en diferentes épocas de año para tener un óptimo aprovechamiento de la luz natural.

Tabla 18. Análisis solar para los solsticios y equinoccios en Querétaro.

Posición del sol por época del año	Hora del día	Inclinación solar	Hrs de luz
 Equinoccio de 21 de marzo (12:00 hrs)	Amanecer 08:43 hrs	Acimut: 89.33° Elevación: 28°	12:08
	Mediodía 14:47 hrs Ecotect 13:00	Elevación: 70.14°	
	Atardecer Ecotect 18:30	Elevación: 10°	
	Puesta de sol 20:52 hrs	Acimut: 270.89°	
 Equinoccio de 21 de septiembre (12:00 hrs)	Amanecer 08:29 hrs	Acimut: 89.05° Elevación: 28°	12:08
	Mediodía 14:33 hrs Ecotect 13:00	Elevación: 70.20°	
	Atardecer Ecotect 17:50	Elevación: 10°	
	Puesta de sol 20:37 hrs	Acimut: 270.74	
 Solsticio de verano 21 de junio (12:00 hrs)	Amanecer 08:01 hrs	Acimut: 64.53° Elevación: 25°	13:21
	Mediodía 14:42 hrs Ecotect 12:45	Elevación: 86.86°	
	Atardecer Ecotect 18:30	Elevación: 10°	
	Puesta de sol 21:23 hrs	Acimut: 295.44°	
 Solsticio de invierno 21 de diciembre (12:00 hrs)	Amanecer 08:11 hrs Ecotect 08:11	Acimut: 114.75° Elevación: 11°	10:54
	Mediodía 13:38 hrs Ecotect 12:45	Elevación: 46.26°	
	Atardecer Ecotect 17:15	Elevación: 10°	
	Puesta de sol 19:06 hrs	Acimut: 245.24°	

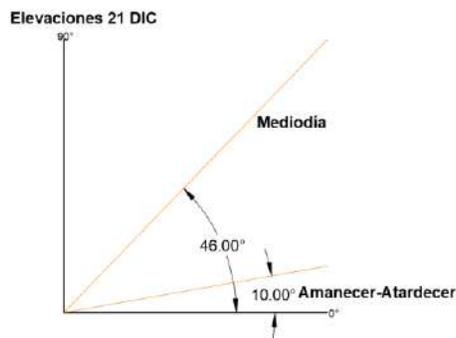
Fuente: Elaboración propia mediante Ecotect (2011) y SunEarthTools.com (2018)

Aplicación. El diseño del prototipo se basa en potenciar la captación solar en las elevaciones solares de invierno puesto que es la época del año donde la incidencia solar es más débil, se pretende que con el funcionamiento del sistema a través de la reflexión especular y mediante su diseño se logre mayor rango de captación solar.

Según Ferrón, Pattini y Lara (2008, p.12) en un estudio realizado para lumiductos que funcionan bajo el principio de reflexión total interna, determinaron que:

“[...] el ángulo de γ inclinación que debe adquirir la superficie del material sobre la que incide el haz de luz respecto a la normal es igual a la diferencia entre 90° y el ángulo de altura máxima que alcanza el sol en los solsticios de Verano e Invierno, en función de la latitud en la que se emplace el Sistema de Iluminación Natural.”

Por lo tanto, de acuerdo a tales observaciones, se consideran las elevaciones solares del 21 de diciembre (Figura 32), para efectos de cálculo:



Donde el ángulo γ es igual a:
 $90^\circ - 10^\circ$ para el amanecer y atardecer = **80°**
 $90^\circ - 46^\circ$ para el mediodía = **44°**

Figura 32. Elevaciones solares para el 21 de diciembre. Fuente: Elaboración propia.

El diseño del captador corresponde a un cilindro cortado a 44° de la horizontal con el fin de obtener mayor rango de incidencia solar hacia el interior del conducto y por lo tanto hacia el espacio interior durante la época de invierno como se observa en la Figura 33 (Diagrama 1) , se aprecia que esta disposición no afecta el rendimiento lumínico del dispositivo para el resto del año como muestran los

diagramas 2 y 3 donde los dispositivos no se ven afectados en cuanto a la captación de acuerdo a la inclinación solar en el solsticio de verano y en los equinoccios.

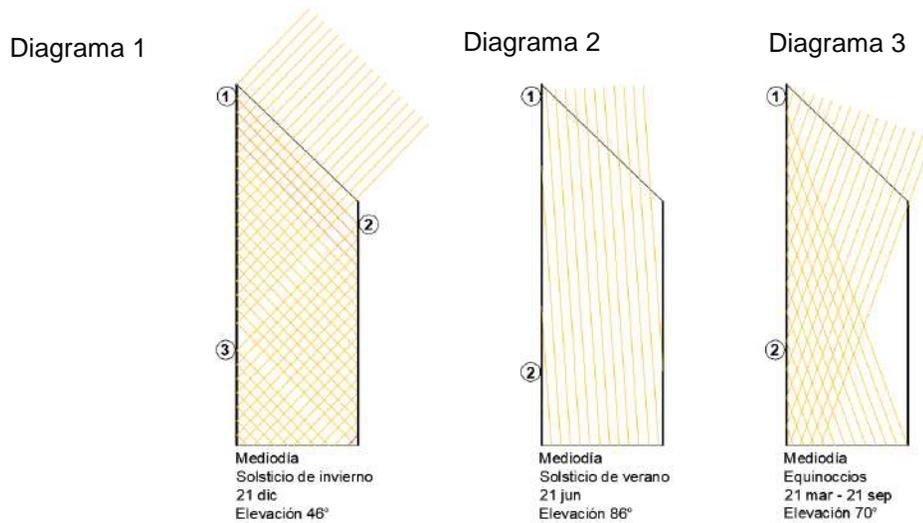


Figura 33. Reflexiones de los rayos solares en el conducto de acuerdo con su elevación en diferentes épocas del año. Fuente: Elaboración propia.

De forma comparativa la Figura 34 muestra la incidencia de los rayos solares en el conducto cuyo diseño posee un captador plano, se aprecia que el rendimiento del dispositivo es menor en el solsticio de invierno y durante los equinoccios de acuerdo a las elevaciones correspondientes, por lo que es evidente que esta disposición por si sola es poco conveniente al diseño del prototipo.

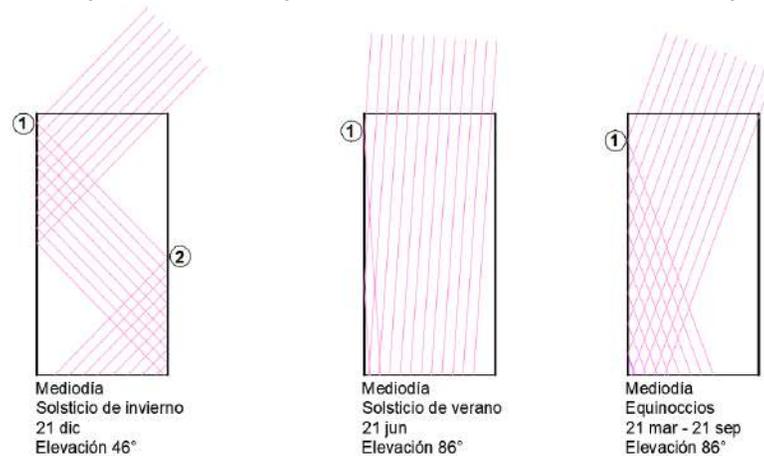


Figura 34. Reflexiones de los rayos solares en el conducto con captador plano para diferentes épocas del año. Fuente: Elaboración propia.

4.3.4 Fabricación del prototipo de sistema de iluminación natural

Se realizaron prototipos iniciales para evaluar su funcionamiento y efectividad con los materiales descritos anteriormente para determinar la elaboración del prototipo final el cual toma los materiales con las mejores características evaluadas tomando en cuenta: el diseño morfológico y sus parámetros de desempeño: aporte lumínico y ganancias térmicas.

Para facilitar su instalación y manejo, cada prototipo se fabricó a escala 1:2.5 y fue evaluado mediante el uso de una cabina de pruebas de la misma escala. Los modelos de diseño utilizados fueron sistemas cuyo principio de funcionamiento se basa en la reflexión especular, a continuación, se describe cada uno de ellos:

Prototipo 1 El captador se compone por una cúpula de acrílico translúcido el cual está sujeto por un anillo plástico a un cilindro metálico de Ø10cm x 12 cm de longitud (conducto) que sostiene otro anillo plástico conectado a un difusor igualmente formado por una cúpula acrílica transparente.



Prototipo 1.1 Variación del prototipo 1 en cuanto al difusor que es circular plano de acrílico translúcido además el interior se forro de película color plata.



Prototipo 2 Está compuesto por un captador con una cúpula de cristal grueso, con un anillo de sujeción plástico que conecta a un cilindro metálico de Ø10cm x 12 cm de longitud (conducto) el cual sostiene otro anillo plástico con un difusor compuesto por una placa de acrílico translúcido circular.



Prototipo 2.1 Variación del prototipo 1 en cuanto al revestimiento interior el cual se forro de película color plata.



Prototipo 3 La zona de captación ahora con un corte a 44° se compone por una cubierta elíptica de acrílico traslúcido que dirige la luz hacia el conducto de Ø10cm x 30 cm de longitud forrado en su interior por una película plástica color plata. El difusor se forma por una placa circular de acrílico traslúcido.
75 cm



Prototipo 3.1 Variación del prototipo 3 en cuanto a la longitud del conducto de 30 cm a 20 cm.
50 cm



Prototipo 3.2 Variación del prototipo 3 en cuanto a la longitud del conducto de 30 cm a 40 cm.
1 m



Prototipo 4 El captador se compone por una placa elíptica de vidrio traslúcido sujeta al conducto de Ø10cm x 24 cm de longitud fabricado con lámina de aluminio cal. 26, que conecta a un difusor de biopolímero PLA con una placa circular de polipropileno de Ø10 cm.
60 cm



Posee una cubierta exterior de aislante de corcho de 4mm con una longitud de 16 cm.

Prototipo 4.1 Variación del prototipo 4 al colocar un difusor de acrílico traslúcido.



Prototipo 4.2 Variación del prototipo 4 al forrar el conducto con película maylar autoadherible en su interior y utilizar un difusor de acrílico traslúcido.



Prototipo 4.3 Variación del prototipo 4 al forrar el conducto con película maylar autoadherible en su interior.



4.3.5 Descripción de los instrumentos de medición

Se fabricó un dispositivo de medición a escala que permite la evaluación lumínica y de temperatura de los prototipos de iluminación natural. Estas mediciones se realizaron a través de los sensores programados (Tabla 19) de radiación TEMT6000 y de temperatura LM35 instalados en el interior de una cabina (Figura 35) con dimensiones de 40x40x40 cm escala 1:2.5 que corresponden en escala real a 1x1x1m (Figura 36).

Tabla 19. Características de los sensores utilizados.

Descripción	Imagen
Sensor de luz ambiental TEMT6000. Adaptado a la capacidad de respuesta del ojo humano Rango de temperatura de funcionamiento Tamb -40 a 85 °C.	
Sensor de temperatura LM35. Circuito integrado de precisión de dispositivos de temperatura con una tensión de salida lineal proporcional a la temperatura centígrada.	

Precisión Asegurada de 0.5 ° C (a 25 ° C)

Clasificado para rango completo de -55 ° C a 150 ° C

Fuente: Elaboración propia con información de www.didacticaselectronicas.com y <http://www.ti.com>



Figura 35. Interior de la cabina de medición. Figura 36. Cabina de medición escala 1:2.5

Para evitar reflexiones de luz al realizar las mediciones se diseñó el dispositivo para que no hubiese infiltraciones de luz y de esta manera la única fuente de luz a registrar solo ingrese por conducto del prototipo, el interior está recubierto con pintura negro mate para garantizar el rendimiento del dispositivo en colores claros.

Los prototipos fueron instalados en posición vertical para ser evaluados durante el experimento (Figura 37, 38 y 39), los cuales tienen las mismas dimensiones para el conducto de luz variando entre sí por el tipo de material que los compone y por el tipo de captador y difusor. Los resultados obtenidos fueron comparados en relación con la morfología de cada sistema, el aporte lumínico, así como ganancias térmicas al interior.



Figura 37. Evaluación del prototipo 3.1



Figura 38. Funcionamiento durante el experimento.



Figura 39. Evaluación del prototipo 4

4.3.6 Evaluación y resultados de las pruebas, parámetros de desempeño

Las mediciones se realizaron sobre un punto lateral dentro del dispositivo de medición tomando en cuenta intervalos con horarios definidos según la geometría solar en Querétaro: mañana 9:00 hrs, mediodía 14:00 hrs, y tarde 19:00 hrs. Durante los días de pruebas y mediciones el procedimiento fue el siguiente:

1. Ubicar la cabina de pruebas al exterior libre de obstrucciones
2. Encender el dispositivo de medición
3. Colocar el primer prototipo y cerrar la cabina. Los prototipos con el ángulo de inclinación en el captador se orientaron hacia el sur.
4. Registrar en un lapso de 10 minutos la iluminación y temperatura máxima y mínima.
5. Cambiar los materiales y con cada uno hacer el mismo registro con el mismo lapso de tiempo.

Después de la evaluación de los prototipos iniciales, para las posteriores evaluaciones se registró la iluminación exterior mediante un luxómetro de bolsillo marca Steren con un rango de trabajo: 0 ~ 50000 lux y una temperatura de operación: 0 ~ 40°C.

Parámetros de desempeño. Los resultados obtenidos para los prototipos se muestran en las siguientes figuras, donde se indican los valores de intensidad luminosa (lux) y temperatura (°C) en función del día.

En la Figura 40 se puede observar que los niveles de iluminación máximos alcanzados fueron por el prototipo 1.1 y al medio día, siendo un día nublado se planteó la realización de ajustes en la morfología del prototipo tomando en cuenta la trayectoria solar para máximo aprovechamiento de la incidencia lumínica en días con escasa luz natural directa.

Día	7/5/2018		
Condiciones	Nublado	Nublado	Nublado
	Mañana 9:00 hrs	Medio día 14:00 hrs	Tarde 19:00 hrs
Prototipo 1: domo acrilico			
Iluminación Lux	62-65	49-85	27-29
Temperatura °C	24-25	28-32	24-25
Prototipo 2: domo cristal			
Iluminación Lux	36-37	33-36	17-20
Temperatura °C	22-23	27	24
Prototipo 1.1: domo acrilico-p.plata			
Iluminación Lux	60-82	37-102	27-28
Temperatura °C	25-26	27-36	23-25
Prototipo 2.1: domo cristal-p. plata			
Iluminación Lux	34-36	31-44	20-21
Temperatura °C	22-23	28-29	24

Figura 40. Pruebas realizadas a los prototipos iniciales

El prototipo modificado basó su morfología de acuerdo al estudio solar realizado, en la que el captador fue dispuesto a 44° con respecto al plano horizontal y fue orientado al sur durante todas las mediciones. La Figura 41 muestra una gran diferencia en cuanto a aporte lumínico medido en luxes con respecto al prototipo inicial mejor evaluado anteriormente, de esta manera fue comprobado el rendimiento lumínico de acuerdo al estudio y aplicación de las proyecciones solares para el sitio.

Día	14/6/2018		
Condiciones	Despejado	Despejado	Despejado
	Mañana 9:00 hrs	Medio día 14:00	Tarde 19:00 hrs
Prototipo 1.1: domo acrílico-p.plat	Interior	Interior	Interior
Iluminación Lux	12-18	21-30	5-7
Temperatura °C	16	22-24	18
Prototipo 3: 75 cm largo	Interior	Interior	Interior
Iluminación Lux	28-35	95-156	7-11
Temperatura °C	16-18	20-23	18

Figura 41. Evaluación comparativa de prototipo inicial con prototipo modificado

Para determinar de manera práctica la longitud óptima del conducto, se realizaron varias pruebas con versiones igualmente a escala del prototipo modificado (prototipo 3), en la Figura 42 se aprecia que la versión 3.1 logró mayor rendimiento que las demás, sin embargo, se hicieron ajustes sobre este diseño de acuerdo con la facilidad de instalación y características de la tipología de la vivienda popular, por lo que la longitud final se estableció de 60 cm con posibilidades de adaptabilidad para la instalación del dispositivo en diferentes condiciones.

Día	3/7/2018					
Condiciones	Despejado		Despejado		Parcialmente nublado	
	Mañana 9:00 hrs		Medio día 14:00 hrs		Tarde 19:00 hrs	
Prototipo 3: 75 cm largo	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior
Iluminación Lux	91-133	94,400	89-94	99,600	16-19	10,100
Temperatura °C	21	21	27	27	0-22	
Prototipo 3.1: 50 cm largo	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior
Iluminación Lux	93-106	80,000	104-112	101,100	43-46	11,100
Temperatura °C	17-19	18	27-29	29	22	22
Prototipo 3.2: 1 m largo	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior
Iluminación Lux	81-94	96,000	95-102	108,500	21-25	10,600
Temperatura °C	24	24	26.00	27	22	22

Figura 42. Evaluación del prototipo modificado y sus variaciones en longitud

De tal forma se fabricó el prototipo número 4 sometiéndolo a pruebas con tres variantes en cuanto a su recubrimiento interior entre lamina natural y maylar así como en el tipo de difusor entre traslucido o difuso, los resultados se muestran en la Figura 43 donde se puede observar que la variación 4.3 obtuvo los valores más altos de iluminación por la mañana y al medio día, cabe destacar que por las condiciones de cielo nublado en la tarde se obtuvieron en la mayoría de las pruebas valores muy bajos de iluminación, se puede apreciar que en el momento en que

hubo mayor iluminación exterior también se obtuvieron mejores niveles al interior del dispositivo, pero este nivel de iluminación no se mantuvo durante la evaluación de todas las variantes.

Día	9/8/2018					
Condiciones	Despejado		Nublado		Nublado	
	Mañana 9:00 hrs		Medio día 14:00 hrs		Tarde 19:00 hrs	
	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior
Prototipo 4						
Iluminación Lux	46-70	48,500	27-34	12,700	7-10	3,100
Temperatura °C	18	18	22-23	22-23	16	17
Prototipo 4.1						
Iluminación Lux	34-39	51,600	60-73	104,000	6-8	3,200
Temperatura °C	20	21	20	22-23	16	17
Prototipo 4.2						
Iluminación Lux	31-70	30,000	35-39	13,300	17-26	6,000
Temperatura °C	17-18	18	22	22-23	16	17
Prototipo 4.3						
Iluminación Lux	77-88	88,000	54-80	22,000	9-11	3,600
Temperatura °C	16-17	46000	21-22	22	17	17

Figura 43. Evaluación del prototipo 4 y sus variaciones con diferente difusor y revestimiento interior

De esta manera se obtuvo como conclusión la fabricación del prototipo final basado en el prototipo 4.3 resultado de la evaluación de sus variantes y de la totalidad de pruebas para determinar las mejores condiciones de funcionamiento.

Prototipo final escala 1:2.5

De acuerdo con evaluaciones previas, el prototipo final (Figura 44) está compuesto por una zona de captación que posee un ángulo de 44° desde la horizontal cuya cubierta está formada por una placa elíptica de cristal traslúcido.

El exterior de la zona de captación está cubierto por una placa aislante de corcho de 4mm de espesor y por un anillo fabricado a base de biopolímero PLA que le da protección y estabilidad (Figura 45).

El conducto de Ø10cm x 24 cm de longitud es fabricado con lámina de aluminio cal. 26. y forrado en su interior con película autoadherible maylar de alta reflectancia.

La unión del conducto al difusor se hace mediante un ensamblaje establecido por el diseño del difusor, este es fabricado a base de biopolímero PLA con una placa circular de polipropileno de Ø10 cm (Figura 46).

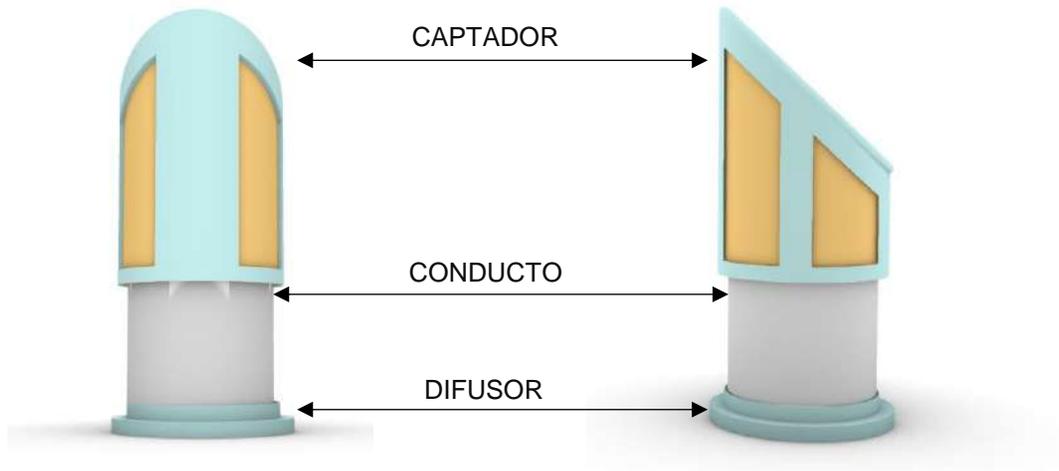


Figura 44. Modelo de prototipo final.

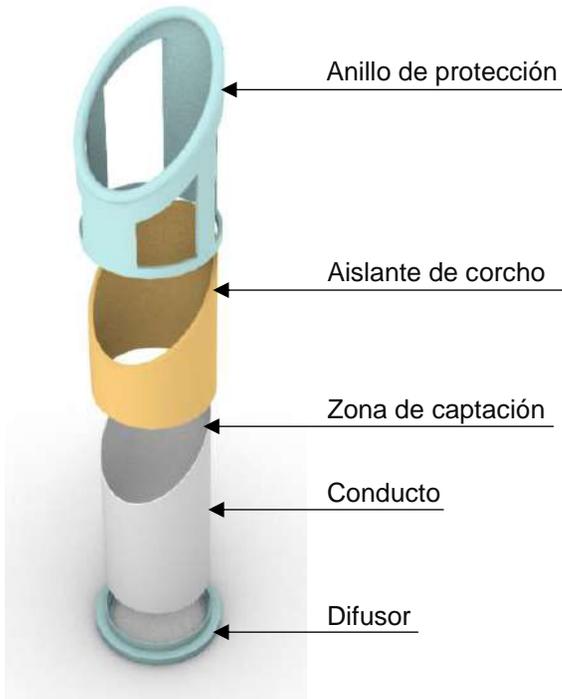


Figura 45. Componentes de prototipo final.

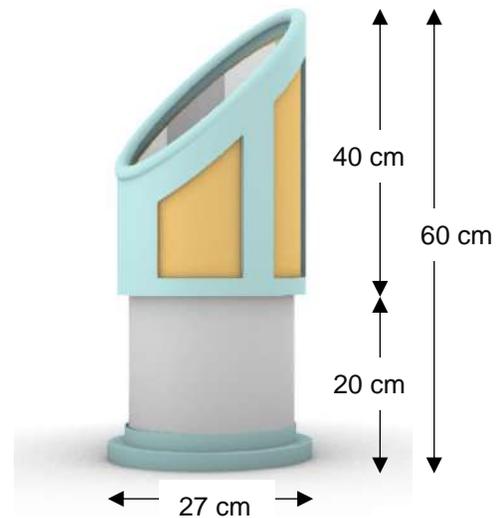


Figura 46. Dimensiones de prototipo final.

Método de fabricación

En primer lugar, se realiza un molde de cartón con la forma de acuerdo con las dimensiones del prototipo y con el ángulo de inclinación de 44° desde la horizontal. Se dibuja en la lámina de aluminio, en la película autoadherible maylar, y en la placa de corcho de 4mm de espesor, se procede a cortar los materiales.

La lámina adquiere su forma cilíndrica al tratarla con una dobladora de lámina manual, posteriormente es adherida la película al interior y por último el cilindro es fijado mediante remaches pop de 1/8" utilizando taladro y remachador manual. La placa de corcho cortada es unida al captador del conducto de lámina mediante pegamento.

El anillo de protección del captador y el anillo difusor se modelaron para su impresión 3D en filamento PLA de color gris. El anillo de protección se inserta sobre la cubierta elíptica de cristal del captador y se fija mediante silicón y espuma de vinilo. Dentro del anillo difusor se coloca con pegamento una placa circular de polipropileno (Figura 47).



Figura 47. Prototipo final.

4.3.7 Prototipo 1:1: Fabricación, instalación y evaluación

Se realizó el levantamiento del lugar donde el prototipo a escala real sería instalado, el cual fue elegido de acuerdo a la disponibilidad, accesibilidad y características requeridas que persigue la investigación.

El inmueble es una caseta perteneciente a las instalaciones de la Universidad Autónoma de Querétaro, cuyas dimensiones son 2.80x2.80x2.20m, las Figuras 48, 49 y 50 muestran el estado actual de la caseta en el exterior e interior de la misma, así como su ubicación en el campus (Figura 51).



Figura 48. Exterior de caseta.



Figura 49. Azotea de caseta.

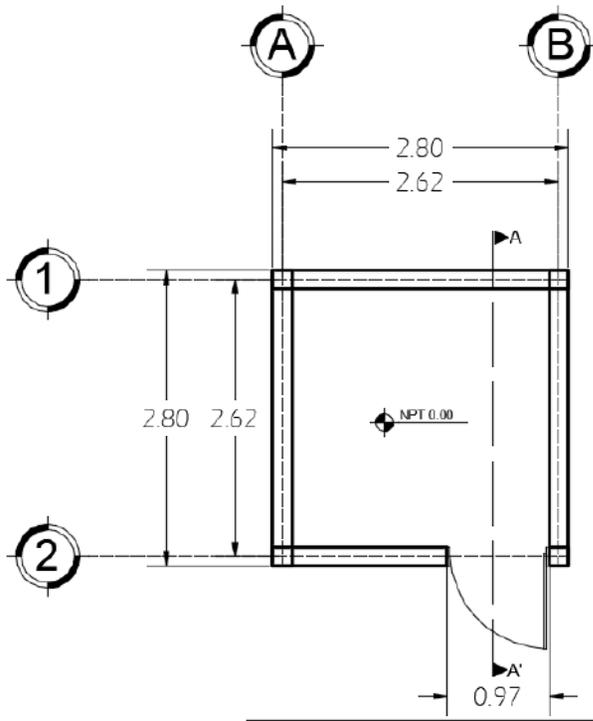


Figura 50. Interior de caseta.

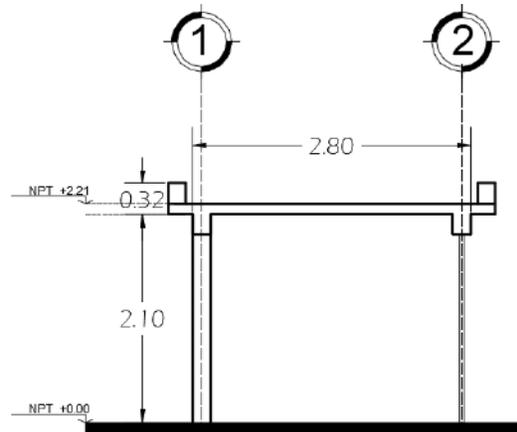


Figura 51. Microlocalización de caseta en las instalaciones de la Universidad Autónoma de Querétaro

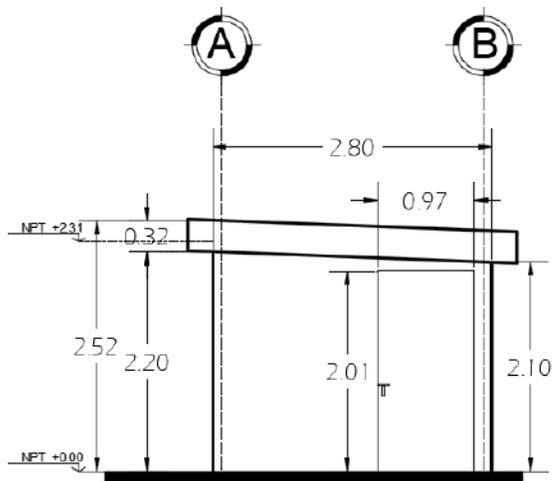
Levantamiento arquitectónico de caseta



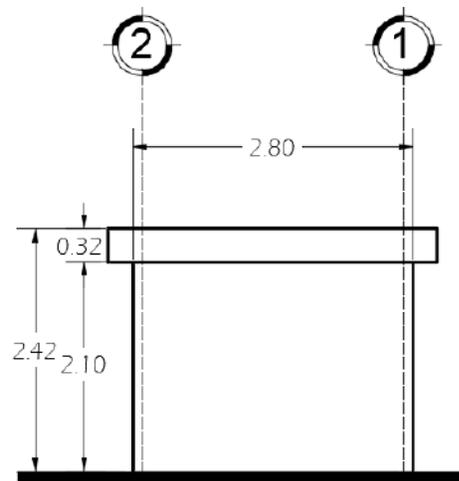
PLANTA ARQUITECTÓNICA
SUPERFICIE 7.84 M2 ESC. 1: 75



CORTE A-A'
ESC. 1: 75



FACHADA FRONTAL
FACHADA NORTE ESC. 1: 75



FACHADA LATERAL
FACHADA PONIENTE ESC. 1: 75



Ubicación: Universidad Autónoma de Querétaro Campus Querétaro Cerro de las campanas s/n. Colonia las Campanas C.P. Santiago de Querétaro, Qro. México.

ARQ -01

Escala: 1:75

Acotación: Metros
Agosto -2018

Se realizó el levantamiento arquitectónico de la caseta, asimismo se instaló el instrumento de medición conformado por el sensor de luz ambiental y el sensor de temperatura anteriormente utilizados para la determinación del prototipo final a escala, los sensores fueron ubicados en una de las paredes interiores de la caseta a una altura de 1.10m (Figura 52 y 53).



Figura 52. Instrumento de medición

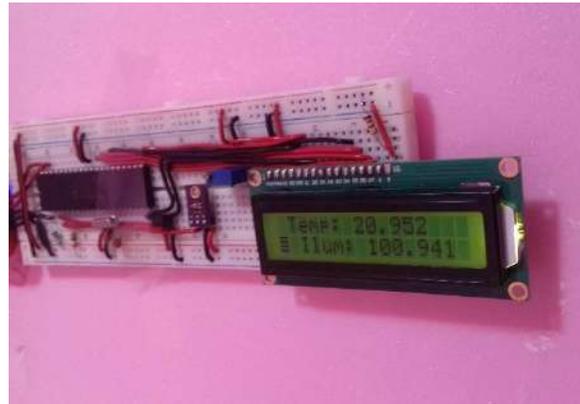


Figura 53. Sensor de luz y temperatura.

La fabricación del prototipo a escala real se basó en el método de fabricación del prototipo final escala 1:2.5, mediante corte, doblado y remachado de lámina de aluminio cal. 26 (Figura 54), sin embargo, se sustituyó la placa de corcho de 4mm por una de 6mm de espesor (Figura 55).



Figura 54. Conducto de lámina de aluminio.



Figura 55. Colocación de aislante de corcho de 6mm

El anillo de protección del captador fue fabricado igualmente con lámina de aluminio cal.26 (Figura 56), y el anillo difusor fue fabricado mediante impresión 3D en PLA de color gris (Figura 57).



Figura 56. Anillo de protección de aluminio



Figura 57. Difusor de PLA

Se diseñó y fabricó en lámina de aluminio de menor calibre una base para la azotea (Figura 58) como elemento que permita una barrera impermeable y un soporte de sujeción para el dispositivo de iluminación natural (Figura 59).



Figura 58. Base impermeable



Figura 59. Colocación figurativa de base

De esta forma el sistema de iluminación natural se integra por un kit de 3 elementos principales para su instalación, y por lo tanto para su adecuado

funcionamiento, estos son: el dispositivo de iluminación (captador y conducto), difusor y base impermeable (Figura 60, 61 y 62).



Figura 60. Kit del sistema de iluminación



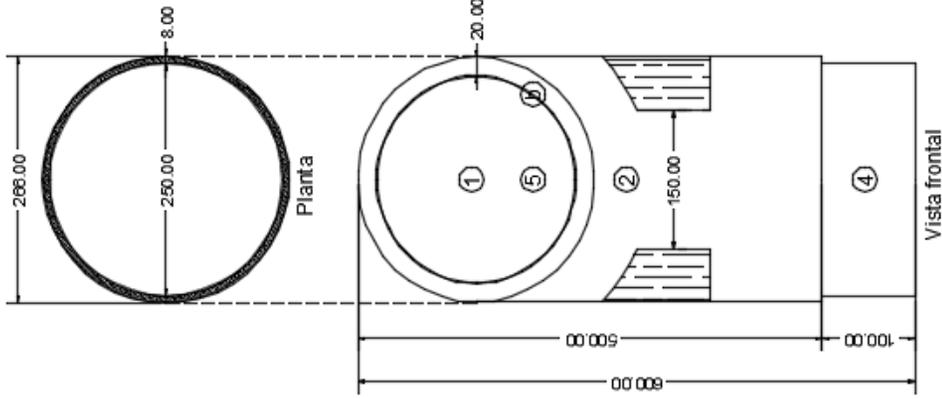
Figura 61. Kit armado



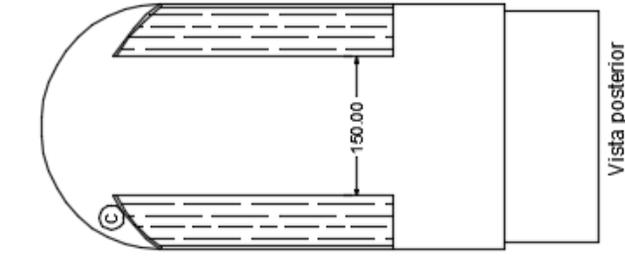
Figura 62. Vista frontal del sistema

Los materiales y dimensiones del sistema como producto final se presentan en la siguiente ficha técnica.

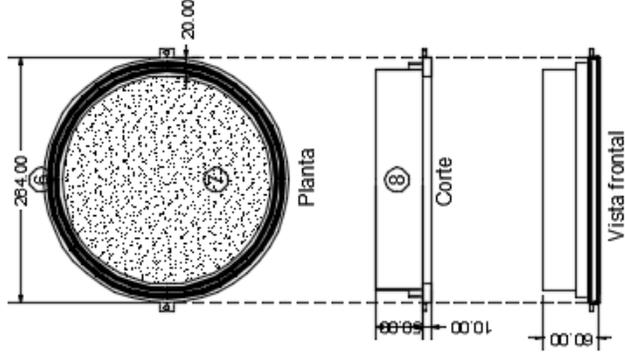
Ficha técnica de sistema de iluminación natural



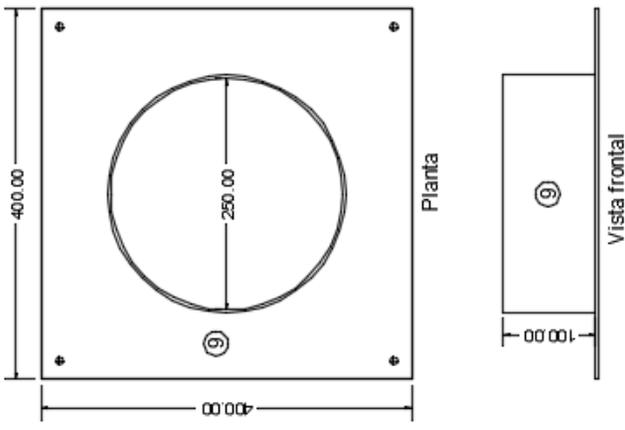
CAPTADOR Y CONDUCTO



DIFUSOR



BASE IMPERMEABLE



Acotación mm

Materiales

1. Placa elíptica de vidrio traslúcido de 3mm
2. Anillo de protección de lámina de aluminio cal. 26
3. Aislante de corcho de 6mm de espesor
4. Conducto de lámina de aluminio cal. 26
5. Película reflectante adherirle maylar
6. Anillo difusor de PLA
7. Placa circular de polipropileno
8. Pestaña ajustable de lámina de aluminio cal. 26 forrada en su interior con maylar
9. Lámina de aluminio cal. 19

Sujeción y sellado

- a. Remaches pop 1/8"
- b. Silicón multiusos transparente
- c. Sellador acrílico color gris

La instalación del sistema de iluminación natural en la caseta comenzó con la ubicación del dispositivo en el interior, se perforó el techo para localizar asimismo la ubicación en la azotea (Figura 63), por medio de varias perforaciones sobre la circunferencia marcada y con el uso de maceta y cincel se abrió un hueco de 25 cm de diámetro aproximadamente (Figura 64), se cortó la estructura metálica de refuerzo (Figura 65) y por último se limpió el área (Figura 66) para continuar con la colocación del sistema.

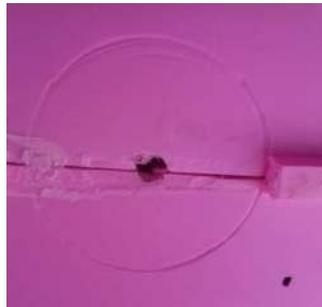


Figura 63. Ubicación del sistema en el interior de la caseta



Figura 64. Apertura del hueco



Figura 65. Corte de estructura metálica



Figura 66. Limpieza del área

En seguida, se realizaron las perforaciones para sujetar la base impermeable al techo mediante tornillos, se colocó y atornilló la base (Figura 67) y se colocó sellador en su perímetro para evitar filtraciones al interior de la caseta (Figura 68).



Figura 67. Colocación de la base impermeable



Figura 68. Aplicación de sellador en el perímetro

Se instaló el dispositivo de iluminación con la zona de captación orientada hacia el sur (Figura 69 y 70) y finalmente se colocó el difusor en el interior, sujetándolo con tornillos al techo (Figura 71).



Figura 69. Instalación del dispositivo



Figura 70. Dispositivo instalado



Figura 71. Colocación del difusor

El sistema de iluminación está por el momento diseñado para salas oscuras, es decir, para habitaciones sin iluminación natural, cuya azotea se encuentre en contacto directo con el exterior y basado en el sistema constructivo de losa plana de concreto armado.

Con la finalidad de dar a conocer el sistema y realizar un efectivo pronóstico de aceptación comercial, se desarrolló una Guía de instalación (Anexo 2), la cual podrá proporcionarse al futuro usuario, sin embargo, claramente se indica que los trabajos relacionados con apertura del hueco están dirigidos únicamente a personas especializadas en el uso de las herramientas y equipo descritos en la guía.

Rendimiento lumínico del sistema instalado

Una vez instalado el sistema se registraron las mediciones con similar procedimiento al que se realizó para la evaluación de los prototipos a escala 1:2.5, en los horarios correspondientes: mañana, mediodía y tarde.

Para cada período del día se registró la iluminación exterior con un luxómetro de bolsillo, las mediciones al interior de la caseta se realizaron ubicando el luxómetro en el suelo debajo del difusor (Punto A) y los sensores de luz y temperatura sobre una pared (Punto B) como se muestra en la Figura 72, el tiempo de evaluación en cada periodo fue de 25 minutos; los resultados se presentan a continuación.



Figura 72. Ubicación de los instrumentos de medición.

Durante los días en que se evaluó el rendimiento lumínico del sistema, las condiciones climáticas fueron en general con cielo soleado y algunos lapsos de nubes, como se puede observar en la Tabla 20, la iluminación en el exterior tuvo el nivel mínimo de 1,500 lx registrado por la tarde y el máximo de 61, 000 lx registrado al mediodía, la temperatura mínima obtenida en el interior de la caseta fue de 16°C y la máxima de 24°C.

Tabla 20. Niveles de iluminación exterior y temperatura registrada en el interior de la caseta

	Mañana 9:00 hrs	Mediodía 13:00 hrs	Tarde 17:00 hrs
Iluminación exterior (lux)	39,000-53,900	55,500-61,000	1,500-8300
Temperatura °C	16-22	23	22-24

Fuente: Elaboración propia.

En el punto A se llevó a cabo la medición con un luxómetro de bolsillo colocado sobre el suelo directamente bajo el difusor, la Figura 73 muestra que la iluminación máxima se obtuvo al mediodía con 206 lx y la mínima por la tarde con 3 lx. Asimismo, con el promedio de los niveles de iluminación máximos y mínimos para cada periodo del día se obtuvo su equivalente en lúmenes como se puede apreciar en la Tabla 21, por lo que se tiene un rango de iluminación de 40 a 1123 lúmenes en este punto.

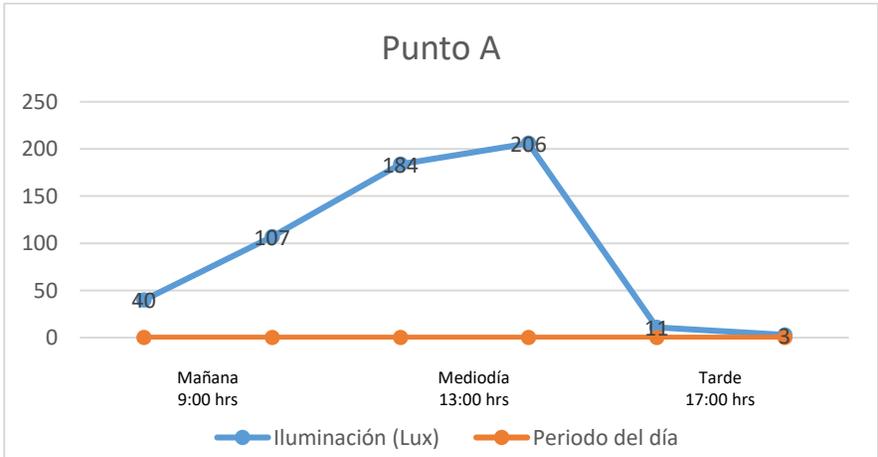


Figura 73. Niveles de iluminación medidos en luxes por periodo del día obtenidos en el punto A

Tabla 21. Promedio de los niveles de iluminación obtenidos y su equivalencia en lúmenes para el punto A

PUNTO A	Mañana 9:00 hrs	Mediodía 13:00 hrs	Tarde 17:00 hrs
Iluminación promedio (Lux)	73.5	195	7
Lúmenes	423.4	1123.2	40.3

Fuente: Elaboración propia.

El punto B corresponde a la medición registrada por medio de los sensores de luz ambiental y de temperatura localizados en una de las paredes de la caseta, como se muestra en la Figura 74 se obtuvo un nivel de iluminación mínimo nuevamente de 3 lx por la tarde y el máximo fue de 100 lx al mediodía, en cuanto al promedio de los niveles mínimos y máximos de iluminación presentados en la Tabla 22, se tiene un rango de 4.5 lx a 70 lx lo que equivale a 26 y 403 lúmenes respectivamente.

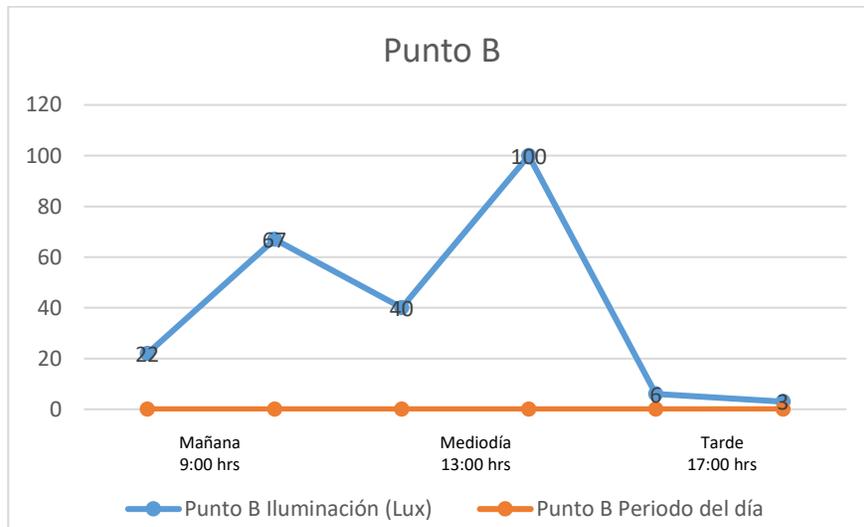


Figura 74. Niveles de iluminación medidos en luxes por periodo del día obtenidos en el punto B

Tabla 22. Promedio de los niveles de iluminación obtenidos y su equivalencia en lúmenes para el punto B

PUNTO B	Mañana 9:00 hrs	Mediodía 13:00 hrs	Tarde 17:00 hrs
Iluminación promedio (Lux)	44.5	70	4.5
Lúmenes	256.32	403.2	26

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados presentados indican niveles de iluminación de 100 lx y 206 lx a plena luz del día, niveles aceptables para situaciones de actividad baja y media (Tabla 6. Niveles de iluminación interior), para espacios de trabajo no siempre ocupados y tareas visuales con escaso grado de dificultad (Tabla 7. Iluminancias recomendadas por la CIE para diferentes tipos de actividad).

4.4 Análisis costo-beneficio

Para valorar si el sistema propuesto es rentable, se presenta un análisis comparativo en términos monetarios del costo de adquisición, mantenimiento y uso de la energía eléctrica empleada durante el día en espacios con deficiente luz natural y de igual forma con la proyección de la adquisición y uso del sistema propuesto.

El precio unitario del sistema de iluminación natural es de \$ 1,230.75 pesos mexicanos, el cual se desglosa en la Tabla 23, mientras que el precio de los dispositivos comerciales similares es de 330 dólares equivalente a \$6,619.16 pesos mexicanos³ (Solatube 160 DS), de tal forma que para la realización del pronóstico comercial se ha determinado el costo del sistema con un 30% de utilidad por lo que su precio de venta al público se estableció en \$1,600.00 pesos mexicanos.

³ Costo obtenido de la página oficial de Solatube <http://www.solatube.com.mx/precios.html> el 04 de noviembre de 2018, con el tipo de cambio dólar/peso equivalente a 20.06 pesos mexicanos.

Tabla 23. Costo del sistema de iluminación natural

Concepto	Pza./lote	Precio Unitario	Costo
Lámina de aluminio cal. 26 de 90x120cm	1.00	200.00	200.00
Película de poliéster de alta reflectancia (maylar) lámina de 51x66cm	2.00	30.00	60.00
Placa elíptica de cristal traslúcido de 3mm de espesor	1.00	70.00	70.00
Placa circular de polipropileno de Ø 25 cm	1.00	7.50	7.50
Placa de corcho de 6mm de espesor de 91x61cm	0.50	380.00	190.00
Anillo difusor de PLA	1.00	260.00	260.00
Base cuadrada de aluminio para el techo	1.00	120.00	120.00
Silicón transparente	0.25	72.00	18.00
Sellador acrílico	0.25	41.00	10.25
Adhesivos varios (cintas, silicón, etc.)	0.25	100.00	25.00
Consumibles de ferretería (tornillos, remaches, entre otros)	1.00	20.00	20.00
Mano de obra de fabricación	1.00	250.00	250.00
Total			1,230.75

Fuente: Elaboración propia.

El sistema de iluminación natural registró en promedio un nivel máximo de iluminación de 195 lx a mediodía, equivalentes a 1123 lúmenes, al respecto en la Tabla 24 se tienen las equivalencias en Watts con algunas luminarias artificiales utilizadas en el ámbito residencial.

Tabla 24. Equivalencia de 1123 lm en Watts para luminarias

Luminaria	Equivalencia en Watts (1123 lm)	Eficacia lm/W
Incandescente	75 W	15
Halógena	56 W	20
Fluorescente	19 W	60

Fuente: Elaboración propia.

Para realizar una comparativa de los gastos generados por el uso y mantenimiento de estas luminarias, es necesario calcular el gasto de adquisición de acuerdo a la luminaria que presenta la mayor vida útil, en este caso es la fluorescente con 8,000 horas, por lo tanto, para cubrir estas horas se necesitarían 7 luminarias incandescentes y 12 luminarias halógenas, la Tabla 25 muestra el precio total de adquisición de las lámparas para 8,000 horas de uso.

Tabla 25. Gasto de adquisición de las luminarias

Luminaria	Vida útil hrs	Precio unitario	Lamparas por 8,000 hrs de uso	Precio de adquisición
Incandescente	1,200	\$13.00	7	\$91.00
Halógena	720	\$14.50	12	\$174.00
Fluorescente	8,000	\$49.50	1	\$49.50

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo como referencia un gasto bimestral por consumo de energía eléctrica de \$100.00 a \$300.00 (Apartado 4.2.2 Recolección y análisis de datos) se toma como ejemplo el consumo real de un usuario “Y” (septiembre de 2018) con un costo de \$1.00 pesos el kWh por lo que, el gasto por energía sería equivalente a la cantidad de kWh consumidos (sin considerar su posible variación a futuro) como se observa en la Tabla 30. De esta manera sumado el precio de adquisición de la luminaria y el gasto monetario por consumo de energía eléctrica cada 8,000 horas de uso tendríamos el gasto total por la utilización de iluminación artificial (Tabla 26).

Tabla 26. Gasto de adquisición de luminarias sumado al gasto por consumo eléctrico

Luminaria	Potencia	kWh de 8,000 hrs	Precio del kWh	Gasto por consumo	Gasto total (consumo+ adquisición)
Incandescente	75	600	\$1.00	\$600.00	\$691.00
Halógena	56	448	\$1.00	\$448.00	\$622.00
Fluorescente	19	152	\$1.00	\$152	\$201.00

Fuente: Elaboración propia.

De este modo, el sistema de iluminación natural tendría la capacidad de ahorrar frente al uso de iluminación artificial consumos de 600 kWh para luminarias incandescentes, 448kWh para halógenas y 152kWh para fluorescentes, por cada 8,000 horas de uso del sistema. En este sentido, los usuarios ahorrarían \$691.00, \$622.00 o \$201.00 en luminarias incandescente, halógena y fluorescente respectivamente cada 8,000 horas de uso del sistema.

Materiales alternos

Ya que el sistema de iluminación propuesto tiene amplias posibilidades para su aplicación comercial, se hacen necesarias investigaciones para el análisis futuro de otros materiales y técnicas para la producción en serie del anillo de protección y la placa aislante principalmente, valorando su durabilidad y manejabilidad a largo plazo montado in situ, debido a que estas capas están expuestas directamente al exterior. Materiales como el barro o la cerámica en general, incluso materiales en desarrollo, como son los bioplásticos y los materiales con nanotecnología, que promueven estrategias sostenibles podrían ser evaluados para mejorar la rentabilidad del sistema en su producción en serie.

La Tabla 27 presenta una breve descripción de los materiales antes mencionados, siendo que la cerámica y el barro han sido empleados desde la antigüedad para la elaboración de productos y por sus características impactan en menor medida al medio ambiente que los productos derivados del petróleo, de igual

manera los bioplásticos y materiales con nanotecnología que, aunque son de más reciente desarrollo, representan una actual y futura alternativa para el sector industrial.

Tabla 27. Materiales alternos

Material	Descripción
Cerámica	Corresponde al modelado de la arcilla para la creación de objetos a través de diversas técnicas. Una vez modelada la arcilla, se deja secar y se somete a un proceso de cocción para la obtención de un producto final.
Barro	Es una mezcla semi líquida natural integrada por agua, tierra, puede contener partículas de polvo y arcilla, esta mezcla constituye una masa plástica con la que es posible fabricar diversos productos.
Bioplástico	Se fabrica a partir de fuentes como la biomasa, materia orgánica y recursos naturales renovables, para su extracción son procesados por medios químicos, dando lugar a plásticos como el ácido poli láctico (PLA), nylon, polipropileno, entre otros, con características equivalentes a los obtenidos del petróleo.
Materiales con nanotecnología	La nanotecnología tiene como objetivo la optimización de las propiedades de los materiales y el desarrollo de nuevas propiedades mediante el empleo de nanomateriales, los cuales permiten tener materiales con mejores cualidades en cuanto a resistencia mecánica, durabilidad, ligereza, aislamiento y resistencia al fuego.

Fuente: Elaboración propia con información de Tello (2017), Cornejo (2015), www.barrorodado.com, www.vix.com

4.5 Pronóstico de aceptación

Con el fin de validar la aceptación comercial del sistema de iluminación natural, se toma como referencia la estrategia de Mínimo Producto Viable, así como la metodología Lean Startup.

La estrategia de Mínimo Producto Viable (MPV) se basa en mostrar la versión del producto al cliente y su principal objetivo es evitar desarrollar productos que los clientes no quieran. Mediante el enfoque de crear y vender un producto a un grupo de clientes permite recabar la mayor cantidad de aprendizaje validado sobre los clientes con el menor esfuerzo posible; es usado para probar rápidamente de manera cuantitativa y cualitativa la respuesta del mercado ante un producto o una funcionalidad específica (Stevens, 2011).

Por otra parte, el método Lean Startup tiene como fin conocer si determinado producto va a funcionar, es decir, si soluciona la problemática del usuario, se enfoca en validar si el mercado compraría o no el producto, a través de la comunicación efectiva de la propuesta mediante un MPV. Este método permite conocer si la idea que se está desarrollando tiene aceptación en el mercado (Llamas & Fernández, 2018).

A través del MPV se interactúa con el cliente y se comprueba si la propuesta satisface sus necesidades o soluciona sus problemas y se demuestra de manera empírica que están dispuestos a pagar por la propuesta.

Esta metodología no busca el encaje producto-mercado sino el encaje problema- solución, lo importante es comprobar si el producto resuelve una necesidad real y medir la aceptación por parte de los clientes más interesados (Llamas & Fernández, 2018) si se valida con éxito se cuenta con bases sólidas para escalar en el mercado.

De tal manera para validar la aceptación comercial del prototipo fabricado como posible solución a la problemática, se consideró a la población que habita una vivienda de tipo popular del municipio de Querétaro y que cuenta con espacios interiores con escasa o nula iluminación natural, por lo que se consideraron las 53 viviendas afectadas de las 103 encuestadas en el primer estudio de campo, de las cuales se obtuvo una nueva muestra.

A partir del ciclo Construir, Medir y Aprender de la metodología Lean Startup, el cual, es un proceso repetido para lograr la elaboración del producto que efectivamente responde a la necesidad del mercado o determina que el producto no es viable, se planteó la siguiente estrategia:

CREAR

El prototipo del sistema iluminación natural, resultado del desarrollo experimental de la presente investigación, es considerado el Producto Mínimo Viable apoyado de un recurso “digital-impreso” (video-folleto) que muestra las funciones y especificaciones del producto (Anexo 3), de una ficha técnica y una guía de instalación práctica (Anexo 2).

PLANEAR

Dirigirse a la población muestra seleccionada (muestreo no probabilístico), ya que son aquellas personas que cuentan con un espacio carente de iluminación natural en su vivienda y que en este caso se convierten en clientes potenciales del producto.

PROBAR Y MEDIR

Dar a conocer el producto a los clientes potenciales y evaluar su comportamiento. Para tratar de evitar distorsiones en la recopilación de información

durante la interacción producto - usuario se plantearon dos métodos de comunicación de la propuesta:

1. Invitar a un grupo a la caseta de experimentación donde se instaló el prototipo funcional en donde se les muestra el sistema de iluminación natural en funcionamiento, así como las características y especificaciones del prototipo como PMV, teniendo el apoyo de las herramientas digitales e impresas previamente elaboradas. Por último, se realiza un cuestionario por escrito (Anexo 4).
2. Presentar a la población muestra las herramientas digitales e impresas para dar a conocer el producto, en seguida se realiza un cuestionario por escrito (Anexo 4).

VALIDAR

Aprender de la interacción con el usuario y a través del análisis de los datos obtenidos determinar la validación de la aceptación comercial para definir una visión prospectiva del sistema de iluminación natural.

4.5.1 Análisis de datos y validación

A partir del método propuesto: crear, planear, probar y medir, y validar para llevar a cabo el pronóstico de aceptación se dio a conocer el sistema de iluminación natural ante la población muestra seleccionada, sin embargo, también se tuvo la participación de la población con y sin el problema de carecer de luz natural en algún espacio de su vivienda que pudieron asistir a la caseta de experimentación para conocer el prototipo en funcionamiento. Los resultados fueron los siguientes:

Al preguntarles si consideraban que la instalación del sistema podría mejorar la iluminación en algún espacio de su vivienda el 60% de los participantes afirmaron

que definitivamente si, el 36% que probablemente y 4% contestó que no tiene la certeza.

Con respecto a si consideraban que con la instalación del sistema mejoraría el confort en algún espacio de su vivienda, el 68% indicó que definitivamente si, el 24% que probablemente y el 8% no lo sabe.

El 64% de los participantes consideran que con la utilización del sistema disminuiría el consumo de electricidad en su vivienda, el 20% cree que probablemente y 12% tiene la duda.

El 48% de los participantes consideran que con la instalación del sistema en su vivienda probablemente mejoraría su calidad de vida, 40% considera que definitivamente si y el 12% muestra incertidumbre.

El 56% de los participantes indicaron estar de acuerdo en referencia a si el producto cumple con sus expectativas para comprarlo, 24% en total acuerdo y 20% están indecisos.

Al preguntarles si estarían dispuestos a comprar el producto con un precio de \$1,600.00 pesos sin contar los costos de instalación, la mayoría de los participantes (64%) dijeron que probablemente si lo comprarían, mientras que 20% señalaron que definitivamente si lo comprarían y el 12% no sabría si comprarlo o no. En relación a este precio propuesto al público, 48% opinó que probablemente es un precio razonable, 32% afirmaron que por supuesto, 16% dijo no estar seguro y solo 4% indicó que probablemente no.

Asimismo, pensando en que el precio del producto les pareciera aceptable se les preguntó nuevamente si lo comprarían, a lo que el 64% de los participantes respondió que si lo compraría en cuanto estuviese en el mercado, 24% se mostraron indecisos, 8% mencionaron que dejarían pasar un tiempo antes de comprarlo y hay quien no cree comprarlo.

La primera reacción que los participantes dijeron tener ante la presentación del producto fue para la mayoría (68%) muy positiva, para el 24% positiva y para el 8% fue neutral. El producto les pareció innovador al 52% de los participantes, muy innovador al 40% y neutral al 8%, en este sentido, el 48% dijo no conocer algún producto similar, mismo porcentaje señaló conocer alguno y el resto lo asoció con los domos.

Por otro lado, la mayoría de las personas que participaron mencionaron que les gustaría poder comprar el producto en primer lugar en tienda, luego por internet y hay quien dijo no comprarlo por el momento. También a la mayoría les gustaría recibir información sobre el producto a través de internet como medio principal, seguido de correo electrónico, folletos, televisión, radio y por último en anuncios y personalmente.

Del total de los participantes 52% definitivamente si recomendarían el producto a otras personas, 32% dijeron que probablemente y 16% no sabrían si recomendarlo o no.

En relación a la instalación del sistema de iluminación natural, más de la mitad de los participantes (56%) indicó que le gustaría que el proveedor del producto también proporcionara el servicio de instalación, el 40% señaló que le gustaría instalarlo utilizando la guía de instalación detallada del producto y 4% se mostró indeciso.

Al preguntarles por lo que les gustaba del producto mencionaron los siguientes aspectos, ordenados, los de mayor coincidencia, según el nivel de agrado por parte de los participantes:

1. El aprovechamiento de la luz natural para iluminar espacios.

2. El funcionamiento del sistema con únicamente luz sola sin la necesidad de requerir elementos electrónicos, y que con poca superficie pueda captar luz.
3. El ahorro de energía eléctrica que podría representar, aunado a la capacidad de iluminación que brinda.

En menor medida fueron mencionados aspectos como el uso de materiales amigables con el medio ambiente, el precio, la sencillez y la posibilidad de ser accesible a comunidades sin luz, entre otros.

En contraste, también se les preguntó a los participantes que era lo que no les gustaba del producto, de igual forma los tres aspectos de mayor coincidencia ordenados jerárquicamente se enumeran a continuación:

1. La limitante de solo poder utilizar el sistema en habitaciones que estén en contacto directo con el exterior.
2. El precio.
3. Las posibles dificultades de la instalación en obra construida.

La mayoría de los participantes indicó que no le haría ningún cambio al producto para su mejora, el resto mencionó cambios como que se pudiera utilizar para su uso no solo en azoteas y que podría tener diversos tamaños según el espacio a utilizar.

De igual manera, la mayoría señaló que algunos aspectos que incrementarían su interés en el sistema de iluminación son, en primer lugar, que pueda emplearse para varios pisos, en segundo, que cuente con filtros para lograr diversas tonalidades y ambientes, en tercer lugar, proporcionar un listado de los beneficios de recibir luz natural en los espacios, y por último tratar de mejorar el precio.

Con los resultados obtenidos del pronóstico de aceptación se tiene que con la utilización del sistema de iluminación natural se podría mejorar la iluminación y el

confort, así como disminuir el consumo de energía eléctrica en algún espacio de la vivienda, aspectos que probablemente mejorarían la calidad de vida de las personas.

Se encontró que el prototipo de sistema de iluminación natural cumple con las expectativas de la mayoría para comprarlo y que, de acuerdo al costo propuesto probablemente lo comprarían, sin embargo, esta seguridad de compra se reafirmaría si el precio les pareciera aceptable, ya que más de la mitad indicó que de esta forma lo adquiriría una vez que se encuentre en el mercado, por lo que de este modo se tiene la validación del sistema como un producto que tiene aceptación comercial, y que también tiene amplias oportunidades de mejora para su implementación en el mercado.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el análisis de los sistemas de iluminación existentes se obtuvo que entre los sistemas que aplican para el clima de Querétaro y a espacios donde por sus características no puedan tener una ventana, se encuentre obstruida, o se requiera luz a mayor profundidad, son los tubos de luz solar, las fibras, los cristales direccionadores de luz solar y las HOEs en claraboyas, de los cuales se tomó parte de sus características para el desarrollo del sistema de iluminación natural objetivo de la investigación.

Para desarrollar el sistema de iluminación accesible a la población, se realizó en primera instancia del análisis del lugar, ya que la disponibilidad lumínica depende de la ubicación geográfica, clima, estación y período del año en donde se emplazará o está ya construida la edificación, en este sentido, tenemos que, Querétaro cuenta con un amplio rango de días soleados con 82% durante el año, sumado a que su ubicación le permite una alta incidencia de radiación solar con valores promedio de 5 a 6 kWh/m² al día durante el verano.

Con la finalidad de analizar la situación real de la problemática se realizó un estudio de campo, el cual consistió en la aplicación de 103 encuestas a la población que habita una vivienda de tipo popular en Querétaro, al ser este tipo de vivienda un sector predominante. Los resultados indicaron que más de la mitad de la población muestra (51%) presenta espacios con deficiente iluminación natural, lo que refiere a que estos usuarios tienen al menos una habitación carente de luz solar, sin embargo, se tienen casos donde más de una habitación en la misma vivienda presenta dicha situación, recámara, baño y cocina son los principales espacios afectados.

Otro dato importante arrojado por la encuesta es que las luces se encuentran encendidas en los espacios sin luz natural más tiempo del que el usuario permanece en la habitación, por lo que el tiempo de ocupación de la habitación

difiere con la utilización de iluminación para la realización de actividades, por lo que representa un consumo innecesario y una falta de concientización sobre el ahorro energético.

Por otro lado, los usuarios afectados atribuyen la falta de iluminación natural a la modificación en la vivienda por medio de autoconstrucción, sombreamientos u obstrucciones no deseadas y una mala orientación de la vivienda. Esta situación confirma la problemática cuando la mayoría de los encuestados afirmó que les afecta en primer lugar por generarles un gasto monetario, en segundo lugar, por la incomodidad de tener que prender la luz durante el día y por último el desagrado por permanecer en ese espacio, así como sentirse afectados emocionalmente.

Cabe señalar que la población tiene escaso conocimiento de la gran variedad de sistemas de iluminación natural que existen a parte de las ventanas, ya que señalaron los domos y tragaluces como los más conocidos, y poco conocidos los tubos de luz solar. Sin embargo, sin tener un sistema desarrollado, del total de los encuestados la mayoría dijo estar dispuesto a pagar entre \$1000.00 y \$3000.00 pesos por un sistema de iluminación natural para las habitaciones que no la tuvieran.

De esta forma se reafirmó la necesidad de estrategias y alternativas que permitan el uso y aprovechamiento de la luz natural, también con este estudio se obtuvieron elementos básicos sobre el perfil y requerimientos de los usuarios que presentan la problemática.

Partiendo de la metodología propuesta, el desarrollo experimental fue por las siguientes etapas: diseño, materiales, estudio solar y fabricación del prototipo.

Durante el diseño del sistema de iluminación natural se definieron sus componentes esenciales: captador, conducto y difusor; se realizaron varios bocetos y modelos para definir la forma, estructura y materiales.

La preselección de materiales se basó en criterios que involucran estrategias sostenibles, es decir de bajo impacto ambiental en la medida de lo posible, también se tomó en cuenta la accesibilidad y costo, así como la funcionalidad, bajo estos criterios se consideraron materiales como el vidrio, el acrílico, cilindros metálicos, lámina de aluminio, películas metálicas, corcho, y filamento PLA.

Con los resultados del estudio solar se pudo determinar la forma del prototipo, ya que la inclinación de la zona de captación del dispositivo se debe a la obtención del máximo rendimiento del sistema en invierno, época del año donde se tiene menor inclinación solar con 46° al medio día, es también en esta época donde hay menor cantidad de horas de luz durante el día (11hrs), de esta manera se puede garantizar la eficiencia del sistema durante el resto del año.

Con la fabricación de prototipos a escala se evaluó el funcionamiento de los materiales, posteriormente se efectuaron pruebas con diversas longitudes, revestimiento interior y difusores. Los prototipos fueron evaluados mediante la realización de pruebas en una cabina de medición igualmente fabricada a escala, la cual, con sensores de iluminación y temperatura en su interior, permitieron la obtención de datos que bajo un procedimiento de registro se lograron documentar, valorar y replantear los prototipos para llegar a un resultado final y con ello a un prototipo final.

El prototipo final elaborado a escala está conformado por una zona de captación de vidrio, un anillo de protección de PLA, aislante de corcho que envuelve parte del conducto, conducto de lámina de aluminio, revestimiento interior de maylar y un difusor de polipropileno con anillo de PLA, este prototipo logró rangos de

iluminación de 85 a 100 luxes, y su proceso de fabricación fue la base para elaborar el prototipo a escala real.

Para el prototipo a escala real se optimizaron algunos materiales teniendo en mente los criterios de selección buscados y la posible implementación a nivel comercial, de esta forma el prototipo funcional de sistema de iluminación natural está compuesto por la zona de captación de vidrio, anillo de protección de lámina de aluminio, aislante de corcho, conducto de lámina de aluminio, revestimiento interior de maylar, difusor de polipropileno con anillo de PLA y una base de aluminio como elemento de instalación del sistema. En general los materiales principales utilizados son 5: vidrio, aluminio, corcho, PLA y polipropileno.

El sistema de iluminación fue instalado y evaluado en una caseta proporcionada por la Universidad Autónoma de Querétaro, el dispositivo fue orientado hacia al sur y las mediciones (mañana, mediodía y tarde) fueron realizadas en condiciones de cielo despejado con lapsos ocasionales de nubes. El rango de temperatura obtenido fue de 16 a 24 °C, el nivel máximo de iluminación registrado fue de 206 luxes al mediodía y el mínimo fue de 3 luxes por la tarde. Los niveles de iluminación registrados a plena luz del día son aceptables para actividad baja y media y para la realización de tareas con escaso grado de dificultad.

El costo del sistema desarrollado es de \$1230.75 pesos, a partir del cual se definió un precio de venta al público para la realización del pronóstico de aceptación comercial de \$1,600.00 pesos.

Realizando el estudio económico, se analizaron luminarias de tipo incandescente, halógena y fluorescente con igual equivalencia entre ellas y entre el aporte lumínico del sistema de iluminación natural, se calculó el gasto por consumo de energía eléctrica y el gasto de adquisición de cada luminaria, teniendo que por cada 8,000 horas de uso del sistema de iluminación natural se podrían tener ahorros

desde 152kWh hasta 600 kWh, y ahorros monetarios de \$201.00 hasta \$691.00 pesos.

Una vez desarrollado, probado el sistema, determinado su costo y los posibles ahorros monetarios y de energía, se tienen las bases para la ejecución del pronóstico de aceptación comercial, el cual se fundamenta en las estrategias de Mínimo Producto Viable (MPV) y el método Lean Startup, estrategias enfocadas en validar si una idea o producto tiene aceptación en el mercado.

A partir de ello se elaboró una estrategia que consta de 4 etapas: crear, planear, probar y medir, y validar, que se trató de dar a conocer el sistema de iluminación natural como producto ante la población afectada por la problemática, convirtiéndose estos usuarios en clientes potenciales, y público en general, a los cuales se les mostró el producto por medio de recursos digitales e impresos: video-folleto, ficha técnica y Guía de instalación, así como la demostración del prototipo funcional, de esta manera y con la aplicación de un cuestionario se validó la aceptación comercial del sistema.

Los participantes del pronóstico comercial al conocer el sistema de iluminación y su precio aseguraron en su mayoría que probablemente lo comprarían, pero la mayoría afirmó que definitivamente lo comprarían cuando estuviese en el mercado si el precio les pareciera aceptable, también su primera reacción ante el producto fue muy positiva.

Fueron señalados aspectos a tomar en cuenta en su futura aplicación comercial como que la instalación también fuera proporcionada por el proveedor del producto y características que mejorarían el producto y aumentarían su interés como la adaptación del sistema para su utilización más allá de azoteas en contacto directo con el exterior, el uso de filtros para crear ambientes, proporcionar un listado de beneficios, entre otros.

VI. CONCLUSIONES

Con estos últimos resultados, producto de un proceso metodológico planteado al comienzo de investigación, se llega a la comprobación de la hipótesis, se tiene que el desarrollo del sistema de iluminación natural se realizó en base a un desarrollo experimental, condicionado a funcionamiento, accesibilidad y optimización de los recursos materiales y monetarios. Fabricado inicialmente a escala y finalmente a escala real para su validación, se demostró su aceptación comercial para su aplicación en espacios sin acceso solar de la vivienda popular de Querétaro, teniendo que, para la población representa un evidente ahorro de energía eléctrica, mayor confort y probablemente mejor calidad de vida.

El objetivo de la investigación de desarrollar un sistema de iluminación natural para espacios de difícil acceso a la luz natural que fuera de bajo costo y aplicable a la vivienda unifamiliar para el logro de una mayor aceptación comercial se cumplió, sin embargo cabe reconocer que la reducción del consumo energético, la mejora en las condiciones de habitabilidad y confort del espacio para el usuario a pesar de que fueron estimadas favorablemente, su comprobación solo podrá valorarse científicamente mediante una evaluación postocupacional en un lapso de tiempo prolongado ya que son características estrechamente ligadas con la experiencia del usuario.

Dentro de las recomendaciones generales se tiene la posibilidad de mejorar el prototipo de sistema de iluminación natural como producto para su implementación comercial, principalmente para que pueda ser utilizado en diferentes niveles de las construcciones, que pueda ofrecer a partir de su funcionamiento atmósferas arquitectónicas según la elección del usuario e incluso almacenar la energía para su utilización nocturna. También con la revisión de materiales alternos se replantee su producción en serie para de esta manera aminorar su precio y con ello llegar en mayor medida a los sectores de la población más vulnerables.

Todas las recomendaciones derivadas de la interacción con el usuario y del análisis general de los resultados, promueven la realización de investigaciones futuras para la utilización del sistema a diferentes escalas y en diversos sectores puede ser viable de acuerdo con las adaptaciones necesarias para la mejora continua del proyecto.

Finalmente, una de las principales aportaciones de esta investigación es brindar a la población la posibilidad de tener luz natural en un espacio que se destine a ser habitado, para que, además de ahorrar energía eléctrica, pueda recibir la radiación solar que con su adecuada dosificación influye favorablemente en el bienestar del ser humano.

VII. REFERENCIAS

- Barrios, D. M. (2005). *Aedificare 2005, Anuario de investigaciones de la facultad de arquitectura*. A. B. Narváez, Ed. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Campabada, M., Pérez, D., Zamora, A., & Zamora, D. (2013). *Sistema de captación y transporte vertical de luz mediante fibra óptica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Recuperado el 19 de junio de 2018, de https://issuu.com/davidzam08/docs/proyecto_1_transporte_de_luz_natura
- Ching, F. D. (2000). *Diccionario visual de arquitectura* (3ra ed.). México: GG.
- Comisión Nacional de Vivienda. (s.f.). *Sistema Nacional de Información e Indicadores de Vivienda*. Secretaría de desarrollo agrario, Productor. Recuperado el 10 de noviembre de 2017, de http://www.conavi.gob.mx:8080/Reports/Inv_Viv_Vig/Inv_x_TipViv.aspx
- Comisión Nacional de Vivienda. (2010). Código de edificación de vivienda. (2da). México. Recuperado el 15 de noviembre de 2017, de <https://www.gob.mx/conavi/documentos/codigo-de-edificacion-de-vivienda>
- Cornejo, L. (2015). La nanotecnología y los materiales de construcción. *Nuevas tecnologías y materiales*. Recuperado el 23 de noviembre de 2018, de <http://nuevatecnologiasymateriales.com/la-nanotecnologia-y-los-materiales-de-construccion/>
- Diario Oficial de la Federación. (2016). *Norma Oficial Mexicana NOM-028-ENER-2010, eficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y métodos de prueba*. México. Recuperado el 30 de noviembre de 2017, de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5169747&fecha=06/12/2010

Diario Oficial de la Federación. (2016). *Norma Oficial Mexicana NOM-064-SCFI-2000, Productos eléctricos-Luminarios para uso en interiores y exteriores-Especificaciones de seguridad y métodos de prueba*. México. Recuperado el 30 de noviembre de 2017, de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2055242&fecha=31/12/1969

Espacio solar. (s.f.). Fecha de consulta: 27 de abril de 2018, Disponible en: <http://espaciosolar.com>

Everlux, S.A. de C.V. (2005). Solatube, Innovation in Daylighting. Fecha de consulta: 27 de abril de 2018, Disponible en: <http://www.solatube.com.mx>

Ferrón, L., Pattini, A., & Lara, M. A. (2008). Cálculo de colectores por refracción para barras de iluminación solar. *Avances en energías renovables*, 12. Recuperado el 19 de junio de 2018, de <https://www.mendozaconicet.gob.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2008/2008-t009-a002.pdf>

Ferrón, L., Pattini, A., & Lara, M. A. (2005). Disponibilidad comercial de sistemas de transporte de luz natural. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 9. Recuperado el 19 de junio de 2018, de <https://www.mendozaconicet.gob.ar/portal>

Ganslandt, R., & Hofmann, H. (s.f.). *Como planificar con luz*. (R. Wintgen, Trad.) Barcelona, España. Recuperado el 06 de noviembre de 2017, de <https://www.erco.com/download/content/30-media/2-handbook/erco-handbook-of-lighting-design-es.pdf>

González Gómez, C. I. (2012). *Querétaro metropolitano, una lectura sobre su nuevo crecimiento*. Presentado en 54 international Congress of americanists, Building dialogues in the americas, Viena, Austria, Julio 15-20 de 2012.

- Greenpeace México. (2009). *La destrucción de México, la realidad ambiental del país y el cambio climático*. México. Recuperado el 01 de junio de 2017, de http://www.greenpeace.org/mexico/es/Footer/Descargas/reports/Clima-y-energia/destruccion_mexico/
- Guadarrama Gándara, C., & Bronfman Rubli, D. (2015). Sobre luz natural en arquitectura. *Bitácora arquitectura* (29), 076-083. Recuperado el 06 de noviembre de 2017, de <http://www.revistas.unam.mx/index.php/bitacora/article/download/56260/49891>
- Heidegger, M. (1951). *Construir, habitar, pensar.*, (pág. 8). Darmstadt.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). DF, México: McGraw Hill.
- International Energy Agency. (2010). *Daylight in buildings*. Birmingham, United Kingdom: AECOM Ltd.
- International Energy Agency. (2000). *Energy Conservation in Buildings and Community Programme, Daylight in buildings*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). *Censos y conteos de población y vivienda 2010*. Recuperado de 01 de junio de 2017, de <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/vivienda/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). *Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Querétaro, Querétaro*. Recuperado el 03 de noviembre de 2017, de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/compendio.aspx>
- Llamas Fernández, F. J., & Fernández Rodríguez, J. C. (2018). La metodología Lean startup: desarrollo y aplicación para el emprendimiento. *Revista EAN*,

(84), 79-95. Recuperado el 12 de octubre de 2018, de <http://www.scielo.org.co/pdf/ean/n84/0120-8160-ean-84-00079.pdf>

Méndez Loyola, C. M. (2009). *Análisis de iluminación para interiores mediante el monitoreo y registro de índices del entorno luminoso*. Universidad Autónoma de Querétaro, México.

Merritt, F. S. (1990). *Enciclopedia de la construcción, arquitectura e ingeniería*. España: Océano/Centrum.

Monroy, M. M. (2006). Manual de la iluminación. *Manuales de diseño ICARO, Calidad ambiental en la edificación para las Palmas de Gran Canaria-Islas Canarias*, Ayuntamiento de las Palmas de Gran Canaria. Recuperado el 23 enero de 2018, de <http://conalepmorelos.edu.mx/cuautla/archivos/Manual-1-ILUMINACION.pdf>

Neufert, E. (2014). *Neufert, arte de proyectar en arquitectura* (16 ed.). Barcelona, España: Gustavo Gili, SL.

Pattini, A., J. Mitchell, C. de Rosa. (1994). *Determinación y distribución de luminancias de cielos para diseños con iluminación natural*. Actas de la 17 Reunión de ASADES. Tomo II.

Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Querétaro. (2009). *La sombra de Arteaga*. P. E. Querétaro, Productor. Recuperado el 14 de noviembre de 2017, de <http://lasombradearteaga.segobqueretaro.gob.mx/>

Peytaví, C. R. (2017). *Le Corbusier frente a Louis Kahn, el uso consciente de la luz natural*. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.

Phillips, D. (2004). *Daylighting, natural Light in architecture*. Architectural Press.

Puertas Calvente S.C.P. (2014). *Claraboyas piramidales*. Recuperado el 30 de agosto de 2017, de <http://www.puertascalvente.com/claraboyas/claraboyas-piramidales.htm>

Reglamento de construcciones para el Distrito Federal. (1993). DF, México: Diario Oficial de la Federación.

Reglamento General de Construcciones del Estado de Querétaro. (1988). Querétaro, México. Obtenido de <http://www.ordenjuridico.gob.mx/fichaOrdenamiento.php?idArchivo=31760&ambito=ESTATAL>

Rincón Flores, D. A. (2012). *Diseño del sistema de iluminación basado en tubos reflectantes para el último nivel de la reforma del edificio de E3T*. Universidad Industrial de Santander, Colombia.

Roux Gutiérrez, R. S., Espuna Mújica, J. A., & García Izaguirre, V. M. (2010). *Manual normativo para el desarrollo de vivienda sustentable de interés social en México*. D.F, México: Plaza y Valdés Editores.

Secretaria de Desarrollo Sostenible. (2017). Municipio de Querétaro. Recuperado el 15 de noviembre de 2017, de <http://www.municipiodequeretaro.gob.mx/triforce.php?id=305>

Secretaria del trabajo y previsión social. (2008). *Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo*. México. Recuperado el 11 de noviembre de 2017, de <http://asinom.stps.gob.mx:8145/upload/noms/Nom-025.pdf>

Stevens, H. (2011). Mínimo producto viable: ¿qué es y para qué?, *Revista SG Software Guru*. Recuperado el 01 de octubre de 2018, de <https://sg.com.mx/revista/31/minimo-producto-viable-que-es-y-para-que>

SunEarthTools.com©. (2018). Disponible en:
<https://www.sunearthtools.com/es/solar/sunrise-sunset-calendar.php#table>

Tejeda Martínez, A., & Gómez Azpeitia, G. (2015). *Prontuario Solar de México*. DF, México: Universidad de Colima, Universidad Veracruzana.

Tello González, J. A. (2017). *Estudio de las propiedades mecánicas de bioplástico que contiene ácido poliláctico mediante pruebas de intemperismo* (tesis de maestría). Universidad Autónoma del Estado de México, México. Recuperado el 20 de noviembre de 2018, de <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/79917>

Universidad de la República Uruguay. (2014). *La luz natural en la arquitectura*. Uruguay. Recuperado el 30 de noviembre de 2017, de http://www.fadu.edu.uy/condicionamiento-luminico/files/2012/02/TEO-14_S1-C05A_NTURAL.pdf

Velázquez Rodríguez, M. (2016). *Materiales aislantes sostenibles* (tesis de grado). Universidad de Extremadura, España. Recuperado el 23 de julio de 2018, de <http://dehesa.unex.es/handle/10662/4159>

Weatherbase. (2017). Recuperado el 4 de diciembre de 2017, de <http://www.weatherbase.com/weather/weather.php3?s=766250&cityname=Quer%E9taro-Queretaro-Mexico>

VIII. ANEXOS

Anexo 1



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO FACULTAD DE INGENIERÍA

La presente encuesta es realizada por estudiantes de la Universidad Autónoma de Querétaro para la investigación: **“Desarrollo de sistema de iluminación natural de bajo costo, aplicable a interiores con deficiente entrada de luz en vivienda unifamiliar.”**

Municipio: _____ Colonia: _____ Calle: _____ Número: _____

Datos del entrevistado

Edad (Requisito más de 18 años): _____ años Último grado de estudios: _____

Instrucciones: Subraye la opción que mejor considere para cada pregunta.

1. La casa que habita es:
 - a) Propia
 - b) Rentada
 - c) Otro _____

2. ¿Cuánto tiempo tiene viviendo en la propiedad?
 - a) Menos de 1 año
 - b) 1 a 5 años
 - c) Más de 5 años

3. ¿Su vivienda cuenta con alguna habitación donde la iluminación natural sea escasa o nula?
 - a) NO

b) SI, ¿Cuántas? ____ ¿Cuál(es)? (sala, cocina, baño, ½ baño, recamara etc.)

4. ¿Cuánto tiempo durante el día (sin contar la noche) permanecen las luces encendidas en tales habitaciones?
- a) 5 a 30 minutos
 - b) 31 minutos a 3 horas
 - c) 3:01 a 8 horas
 - d) Más de 8 horas
5. ¿Por qué motivos, sabe o cree que se presenta esta situación?
- a) Mala orientación de la vivienda
 - b) Colindancias
 - c) Sombreamientos no deseados (árboles, construcciones, objetos que obstruyen)
 - d) Modificación en la vivienda (autoconstrucción)
 - e) Otro _____
6. ¿Cuánto tiempo durante el día (sin contar la noche) permanece en esas habitaciones?
- a) 5 a 30 minutos
 - b) 31 minutos a 3 horas
 - c) 3:01 a 8 horas
 - d) Más de 8 horas
7. ¿Además de las ventanas qué otro sistema de iluminación natural conoce?
- Nota: Puede seleccionar más de una opción.
- a) Domos
 - b) Tragaluces
 - c) Tubos de luz solar (solatube)

- d) Otro_____
8. ¿Tiene instalado en su casa alguno de los sistemas anteriores?
- a) Si, ¿Cuál? _____
 - b) No
 - c) Otro_____
9. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por un sistema de iluminación natural para las habitaciones que no la tienen?
- a) Menos de 500 pesos
 - b) 501-1000 pesos
 - c) 1001-3000 pesos
 - d) 3001-6000 pesos
 - e) Más de 6000 pesos
10. Seleccione los aparatos eléctricos con los que cuenta en su vivienda: Nota:
Puede seleccionar más de una opción.
- a) Refrigerador
 - b) Televisión
 - c) Horno de microondas
 - d) Lavadora
 - e) Computadora
11. ¿Cuál es en promedio su gasto por consumo de energía eléctrica bimestral?
- a) 100-300 pesos
 - b) 301-600 pesos
 - c) Más de 600 pesos
12. ¿Qué representa para usted tener espacios sin iluminación natural? Nota:
Puede seleccionar más de una opción.
- a) Me afecta emocionalmente

- b) Genera un gasto monetario
- c) No me gusta permanecer en ese espacio
- d) Es incómodo prender la luz durante el día
- e) No me afecta en ningún sentido
- f) Otro_____

Anexo 2

Guía de instalación del sistema de iluminación natural

La adquisición del dispositivo varía en dimensiones de acuerdo a las características constructivas del techo, en general el sistema de iluminación se conforma por un captador que debe ser orientado hacia el sur, éste forma parte de un conducto de aluminio, el cual se inserta en el hueco preparado previamente sobre la losa, y por último un difusor ubicado al interior de la habitación que se desea iluminar.

El sistema de iluminación debe ser instalado por personas expertas en el manejo de herramientas y equipos necesarios para su instalación, las cuales tendrán que utilizar las medidas de protección y seguridad adecuadas.

Para determinar la mejor ubicación del dispositivo en una habitación con ventanas, apague las luces para observar la cantidad de luz que entra, en caso de ser una habitación totalmente oscura ubique el dispositivo en la zona donde requiera mayores niveles de iluminación, en ambos casos evite sombreamientos y obstrucciones exteriores, como pueden ser árboles o instalaciones.

Se recomienda aplicar los selladores requeridos en superficies totalmente secas. No se recomienda instalar el dispositivo en temporada de lluvias.

Materiales y herramientas necesarias para la instalación

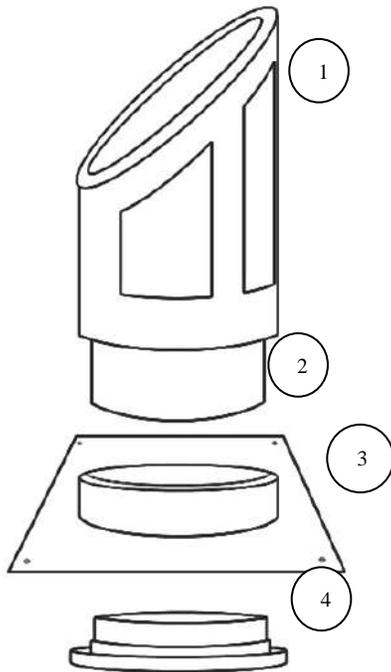
Instalación en obra construida: Losa maciza de concreto armado de 7 a 12 cm.

- Sellador tapagoteras
- Cinta métrica
- Marcador fluorescente
- Pistola de calafateo
- Maceta y cincel
- Martillo perforador o martillo rotativo
- Sierra sable
- Corta pernos (si hay refuerzo de malla metálica)
- Esmeril angular (si hay barras de refuerzo)
- Taladro eléctrico, taladro atornillador/destornillador
- Pie de cabra largo
- Equipo de protección personal: Guantes, calzado y ropa para tareas pesadas, gafas de seguridad, mascarilla para polvo o respirador, tapones para los oídos u orejeras (si trabaja con herramientas eléctricas).
- Escalera

Instalación en obra negra:

- Tubo de cartón para cimbra de 10" de diámetro.
- Sellador tapagoteras
- Pistola de calafateo.
- Equipo de protección personal: Guantes, calzado y ropa para tareas pesadas.
- Escalera

¿Cómo se instala?



COMPONENTES

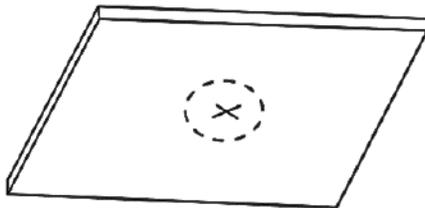
1. Zona de captación
2. Conducto de aluminio
3. Base impermeable
4. Difusor

Fijación y sellado:

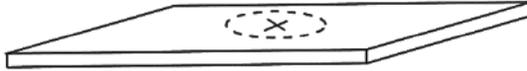
- 4 tornillos para base de 25 mm
- 2 tornillos para difusor de 10mm
- Taquetes
- Sellador tapagoteras

Localización del hueco en el techo

1. Localice la ubicación deseada del difusor en la parte inferior del techo de la habitación donde requiere instalar el sistema de iluminación.
2. Marque un punto en el techo donde desea colocar el dispositivo, asegúrese de que no haya obstrucciones en un radio de 13 cm, de ser así traslade a otro punto y compruebe nuevamente. Marque la circunferencia (26 cm diámetro) con un marcador fluorescente.

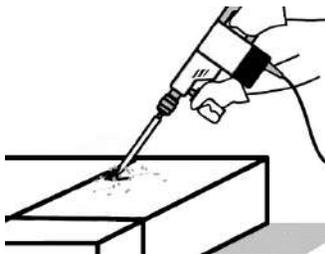


3. Traslade esta posición a la superficie de la azotea realizando una perforación en el centro del círculo con taladro o tomando un punto de referencia y marcando como en el interior para realizar el mismo hueco en el exterior e interior del techo. Se debe cuidar que no se dañen traveses, instalaciones, entre otros.

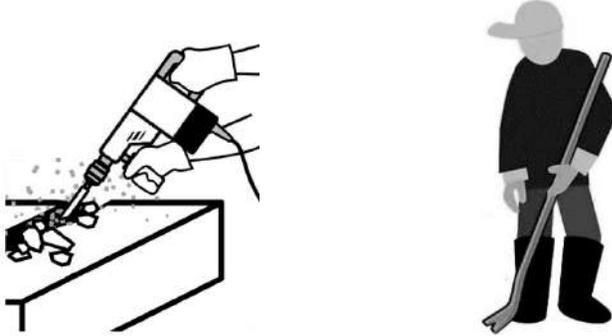


4. Una vez marcada la circunferencia (26 cm de diámetro) en el exterior, abra el hueco con las herramientas adecuadas siguiendo la marca.

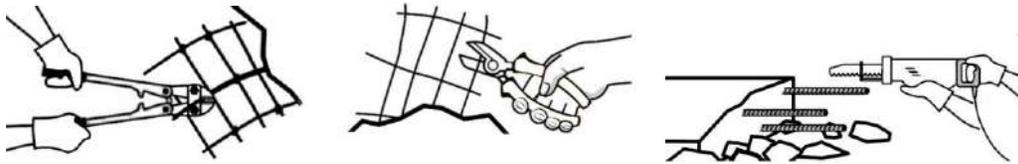
- Colóquese una mascarilla para el polvo o un respirador cuando corte o rompa el concreto.
- Si el concreto tiene hasta 10 cm de grosor, pruebe a utilizar maceta y cincel, comience el trabajo por los bordes. Si no logra abrir grietas notables o se siente agotado, utilice otro tipo de herramientas como un martillo perforador o un martillo rotativo.
- Utilice un martillo perforador o un martillo rotativo con broca de cincel para romper el concreto, incline el cincel de tal manera que la sección a retirar se rompa en trozos, evitando romper la parte a conservar.



- Utilice un pie de cabra para retirar los trozos de concreto quebrado y quítelos a medida que se vaya haciendo más grande el hueco para descubrir con mayor facilidad los refuerzos metálicos.



- Realice el hueco más profundo poco a poco hasta encontrar la estructura metálica, la cual tendrá que cortar cuidadosamente. Utilice un corta pernos para cortar las mallas metálicas de refuerzo y un esmeril angular para cortar las varillas.

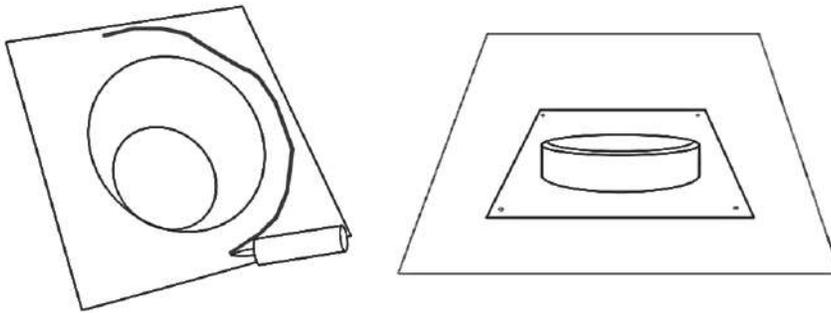


- Cuando haya retirado el concreto, rompa las paredes verticales del hueco para que queden lisas y uniformes. También puede utilizar maceta y cincel para detalles más finos.

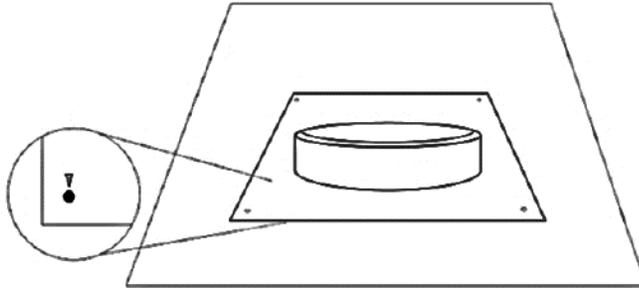


Colocación del dispositivo

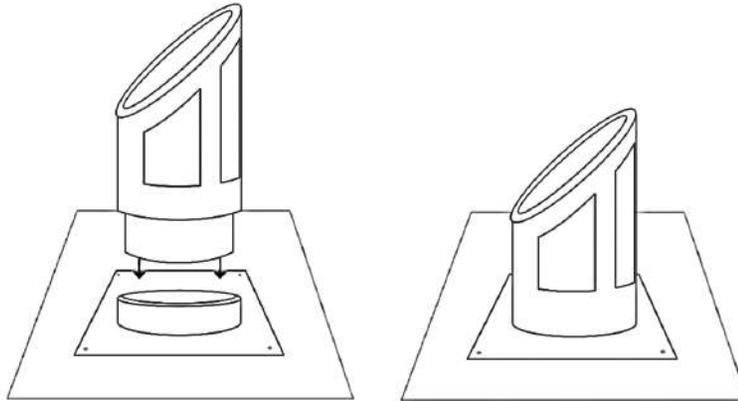
5. Suba a la azotea el sistema de iluminación, los tornillos, el sellador y las herramientas necesarias. Prepare la superficie limpiándola y eliminando cualquier resto o fragmento de los trabajos de la apertura del hueco.
6. La superficie de losa bajo la base impermeable debe estar seca, limpia y nivelada.
7. Oriente el captador del dispositivo hacia el sur, utilice guantes y procure no tocar el interior del conducto para evitar mancharlo.
8. Con una pistola de calafateo aplique sellador tapagotas alrededor de la parte inferior de la base impermeable, voltee la base y colóquela sobre la losa asegurándose de que los orificios de los tornillos de la base impermeable queden alineados con los orificios de la losa perforados previamente.



9. Fije con tornillos la base impermeable a la losa en cada uno de los orificios perforados, los tornillos deben estar firmes, pero no demasiado apretados, recubra las cabezas de los tornillos con sellador y selle el perímetro de la base impermeable.

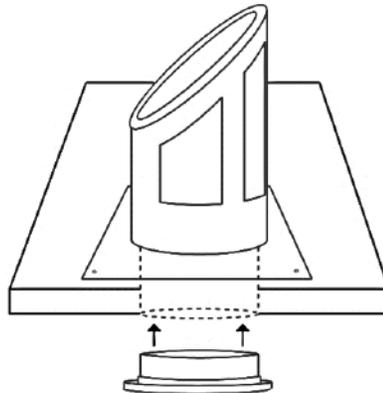


10. En seguida introduzca el captador en la base impermeable y fije con tornillos.

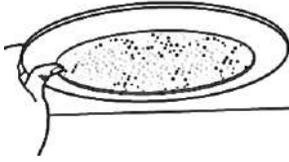


Colocación del difusor

11. Coloque el difusor de luz por el interior de la habitación, la sección de tubo inferior se ajusta al tubo superior ya instalado.



12. Inserte la sección de tubo del difusor en el interior del tubo hasta ajustarse al techo y fije con tornillos.



Instalación en obra negra

1. Coloque el tubo para cimbra en la losa de la habitación a iluminar, cúbralo y asegure su estabilidad durante el cimbrado, armado, colado y descimbrado de su losa de concreto.
2. Continúe con el paso 6 en delante de la sección instalación en obra construida.

Anexo 3

Recurso impreso para el pronóstico de aceptación comercial



Sistema de iluminación natural



Características

El producto es un sistema de iluminación natural dedicado a mejorar la calidad luminica en aquellos espacios interiores que no se encuentran lo suficientemente iluminados de manera natural.

El dispositivo se instala en la azotea de su hogar y mediante un conducto de máxima reflexión distribuye la luz solar hacia el interior, no requiere de ningún sistema electrónico y lo puede instalar usted mismo.



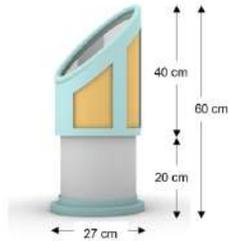
Componentes

- Anillo de protección
- Aislante de corcho
- Zona de captación
- Conducto
- Difusor

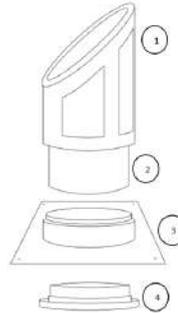




Especificaciones



1. Captador
2. Conducto de aluminio
3. Base impermeable
4. Difusor
5. Fijación y sellado:
 - 4 tornillos para base de 25mm
 - 2 tornillos para difusor de 10mm
 - Taquetes
 - Sellador tapagóteras



Instalación

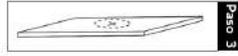


Localizar la ubicación deseada y marcar.



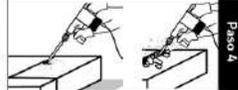
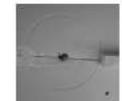
Paso 1 y 2

Trasladar el trazado a la superficie de la azotea realizando una perforación con taladro o mediante un punto de referencia.



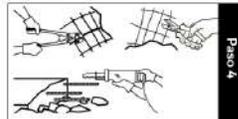
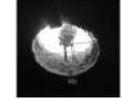
Paso 3

Una vez marcada la circunferencia en el exterior, abrir un hueco con las herramientas adecuadas.



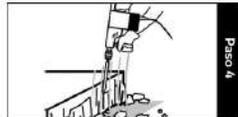
Paso 4

Cortar la estructura metálica cuidadosamente.



Paso 4

Alinear las paredes del hueco.



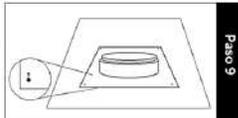
Paso 4

Aplicar sellador tapagóteras en la base impermeable y colocarla en la azotea.



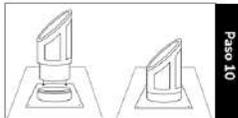
Paso 8

Fijar con tornillos la base impermeable a la losa y recubrir los tornillos con sellador así como el perímetro de la base.



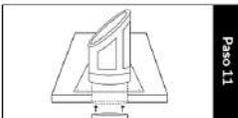
Paso 9

Colocar el captador al interior de la base impermeable hasta que asiente sobre la misma y fijar con tornillos.



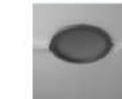
Paso 10

Dentro de la habitación insertar el difusor hasta ajustarse al techo.



Paso 11

Fijar con tornillos.



Paso 12

Para mayor información consultar la Guía de instalación.



Anexo 4



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Entrevista sobre la propuesta: Sistema de iluminación natural

Datos del entrevistado | Nombre completo: _____

1. Si el precio del producto fuera de \$1,600.00 pesos y estuviera disponible por medio de un distribuidor dentro o cerca de su localidad, ¿estaría usted dispuesto a comprar el producto?

- a) Definitivamente si lo compraría
- b) Probablemente si lo compraría
- c) No lo sé
- d) Probablemente no lo compraría
- e) Definitivamente no lo compraría

2. ¿El producto tiene un precio razonable?

- a) Por supuesto
- b) Probablemente
- c) Probablemente no
- d) Para nada
- e) No estoy seguro
- f) Otro (especifique)_____

3. Si el precio del producto le pareciera aceptable ¿Qué probabilidad hay de que lo compre?

- a) Si, lo compraría cuando estuviese en el mercado
- b) Si, pero dejaría pasar un tiempo
- c) Puede que lo compraría o puede que no
- d) No, no creo que lo compraría
- e) No, no lo compraría

f) Otro (especifique)_____

4. ¿El producto cumple con sus expectativas para comprarlo?

- a) Totalmente de acuerdo
- b) De acuerdo
- c) Indeciso
- d) En desacuerdo
- e) Totalmente en desacuerdo

5. ¿En qué lugar o lugares le gustaría poder comprar este producto?

- a) Internet
- b) Tienda
- c) Otro (especifique)_____

6. ¿Cuál es su primera reacción con el producto?

- a) Muy positiva
- b) Algo positiva
- c) Neutral
- d) Algo negativa
- e) Muy negativa

7. ¿Qué tan innovador le parece el producto?

- a) Muy innovador
- b) Algo innovador
- c) Neutral
- d) Poco innovador
- e) Nada innovador

8. ¿Conocía algún producto similar anteriormente?

- a) Si

- b) No
- c) Otro (especifique)_____

9. ¿A través de qué medios le gustaría recibir información sobre este producto?

- a) Internet
- b) Correo electrónico
- c) Televisión
- d) Radio
- e) Anuncios en prensa o revista
- f) Folletos
- g) Otro (especifique)_____

10. ¿Recomendaría este producto a otras personas?

- a) Definitivamente si
- b) Probablemente si
- c) No lo sé
- d) Probablemente no
- e) Definitivamente no

11. ¿Considera que la instalación de este sistema en su vivienda mejoraría su calidad de vida?

- a) Definitivamente si
- b) Probablemente si
- c) No lo sé
- d) Probablemente no
- e) Definitivamente no

12. ¿Considera que la instalación del sistema mejoraría la iluminación de algún espacio de su vivienda?

- a) Definitivamente si
- b) Probablemente si

- c) No lo sé
- d) Probablemente no
- e) Definitivamente no

13. ¿Considera que la instalación del sistema mejoraría el confort en algún espacio de su vivienda?

- a) Definitivamente si
- b) Probablemente si
- c) No lo sé
- d) Probablemente no
- e) Definitivamente no

14. ¿Considera que con la utilización del sistema disminuiría el consumo de electricidad?

- a) Definitivamente si
- b) Probablemente si
- c) No lo sé
- d) Probablemente no
- e) Definitivamente no

15. En relación a la instalación del sistema de iluminación natural le gustaría:

- a) Que el proveedor del producto también proporcionara el servicio de instalación
- b) Instalarlo usted mismo utilizando la guía de instalación detallada del producto
- c) Otro (especifique)_____

16. ¿Qué es lo que más le gusta del producto?

17. ¿Qué es lo que no le gusta del producto?

18. ¿Qué cambios haría para mejorar el producto?

19. ¿Qué incrementaría su potencial interés en este producto?

Comentarios y observaciones