



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE CÓMPUTO**

ESCOM

Trabajo terminal

“Seguidor solar para el aprovechamiento de luz natural”

2014-A030

Presentan

**Enrique Hernández Jiménez
Manuel Alejandro Torres Sebastian**

Directores

Dr. Luz Noé Oliva Moreno

M. en C. Juan Vera Romero



Junio 2015



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE CÓMPUTO
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA



No. De TT: 2014-A030

Documento Técnico

“Seguidor solar para el aprovechamiento de luz natural”

Presentan

Enrique Hernández Jiménez¹
Manuel Alejandro Torres Sebastian²

Directores

Dr. Luz Noé Oliva Moreno

M. en C. Juan Vera Romero

RESUMEN

Objetivo: Crear un prototipo de seguidor solar de bajo costo y bajo consumo con el cual se aproveche y distribuya la luz natural en zonas no iluminadas suficientemente, reduciendo así el consumo de energía eléctrica.

Palabras clave: Microcontroladores, iluminación de espacios, sustentabilidad económica, sistemas de bajo consumo de energía.

¹tiestoman@hotmail.com

²manutorsebas@hotmail.com



**ESCUELA SUPERIOR DE CÓMPUTO
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA**



**DEPARTAMENTO DE FORMACIÓN INTEGRAL E
INSTITUCIONAL**

COMISIÓN ACADÉMICA DE TRABAJO TERMINAL

México, D.F. a 6 de Julio del 2015

**DR. FLAVIO ARTURO SÁNCHEZ GARFIAS
PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ACADÉMICA
DE TRABAJO TERMINAL
PRESENTE**

Por medio del presente, se informa que los alumnos que integran el TRABAJO TERMINAL: 2014-A030, titulado "Seguidor solar para el aprovechamiento de luz natural" concluyeron satisfactoriamente su trabajo.

Los discos (DVDs) fueron revisados ampliamente por sus servidores y corregidos, cubriendo el alcance y el objetivo planteados en el protocolo original y de acuerdo a los requisitos establecidos por la comisión que usted preside.

ATENTAMENTE

Dr. Luz Noé Oliva Moreno

M. en C. Juan Vera Romero

Advertencia

“Este documento contiene información desarrollada por la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional, a partir de datos y documentos con derecho de propiedad y por lo tanto, su uso quedará restringido a las aplicaciones que explícitamente se convengan.”

La aplicación no convenida exime a la escuela su responsabilidad técnica y da lugar a las consecuencias legales que para tal efecto se determinen.

Información adicional sobre este reporte técnico podrá obtenerse en:

La Subdirección Académica de la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional, situada en Av. Juan de Dios Bátiz s/n
Teléfono: 57296000, extensión 52000.

Agradecimientos

Principalmente quiero agradecerle a mis padres Enrique Hernández Bolaños y Josefina Jiménez Ángeles por ser la fuerza que me impulsa a sentirme capaz en el mundo, por darme la vida y soportarme tantas cosas, a mis hermanas Dianna por sus consejos tan útiles y realistas, a Rebeca por sus consejos y la ayuda económica que siempre nos ha brindado a toda la familia; gracias en verdad y a Ofelia por sus consejos y ayuda también.

A mi mejor amigo Víctor eres una gran persona muy inteligente gracias por tu amistad y sinceridad, a ti Miguel por hacerme reír tanto amigo llegarás lejos, a ti Suci por darme siempre lo mejor de ti, por ese cariño incondicional, por tus consejos, por tu ayuda y esa paciencia tan característica que te define, te amo eres una gran mujer.

A todos mis demás amigos, colegas y compañeros que me ayudaron en toda mi carrera y que pasé extraordinarios momentos junto a ellos gracias.

A mis profesores por su tiempo e infinita paciencia espero llegar tan lejos como ustedes y ser igual de productivo y útil para la sociedad como lo son ustedes ahorita.

También a todas las personas que han influido en mi vida para que cada día sea más difícil y tediosa, ya que sin ellos mi carácter, mi energía y mis ganas de abandonar la mediocridad serían nulas, gracias por sus retos y obstáculos, no fueron nada para mí.

Enrique Hernández Jiménez

Agradecimientos

Le quiero agradecer y dedicar este trabajo a mis padres, Demetria Sebastian Cancino y Lorenzo Torres León por el gran apoyo incondicional que me dieron a lo largo de mi vida académica y más en los momentos difíciles. A mis hermanos, José Alberto y Julio Cesar por ser los mejores hermanos del mundo. A mi familia en general con sus buenos deseos. A todos mis amigos, por las grandes aventuras que vivimos y estar conmigo en las buenas y en las malas. También a mis directores por guiarme. Le agradezco a ese ser incomprendido que habita en todo el universo y naturaleza, Dios. Y principalmente a la vida, gracias por darme la perseverancia, fuerza y disciplina para mantenerme fijo en mis objetivos.

Manuel Alejandro Torres Sebastian

Tabla de contenido

Índice de tablas	9
Índice de figuras	10
Índice de ilustraciones	11
Índice de Ecuaciones	12
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES.....	13
1.1. Introducción	13
1.1. Justificación de elección	14
CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE	16
2.1. Observatorio astronómico de Xochicalco	16
2.2. Sistemas desarrollados en el extranjero.....	18
2.3. Sistemas desarrollados en México.....	19
2.3.1. Sistema fototérmico para aprovechar la luz solar.....	19
2.3.2. Automóvil eléctrico adaptado con paneles solares	19
2.3.3. Estufa urbana de concentración solar	20
2.3.4. Concentrador solar.....	20
2.4. Sistemas desarrollados en la ESCOM	21
CAPÍTULO 3. ESTUDIO DE MERCADO	22
3.1. Objetivos del estudio de mercado.....	22
3.2. Definición del proyecto	22
3.3. Naturaleza del proyecto	22
3.4. Ciclo de vida.....	23
3.5. Segmentación de mercado	23
3.5.1. Segmentación Geográfica.....	23
3.5.2. Segmentación demográfica	24
CAPÍTULO 4. REGISTRO DE LA TRAYECTORIA SOLAR.....	25
4.1. La trayectoria del Sol.....	25
4.2. Registro de la trayectoria del Sol en la ESCOM a lo largo del año 2014.....	27
CAPÍTULO 5. NORMAS OFICIALES MEXICANAS (NOM) DE ILUMINACIÓN.....	36
APÉNDICE A: Evaluación de los niveles de iluminación	37
CAPÍTULO 6. LECTURA Y REGISTRO DE ILUMINACIÓN.....	41
CAPÍTULO 7. LA LUZ	43
7.1. Los fotones y el espectro electromagnético.....	43
7.2. Dualidad onda-partícula.	44
7.3. Reflexión y refracción	46
7.4. Leyes de la Reflexión	48

7.5. Leyes de la refracción.....	48
7.6. Material de reflexión	49
7.7. Medición de luxes reflejados.....	50
CAPÍTULO 8. METODOLOGÍA Y DISEÑO GENERAL DEL SISTEMA.....	51
CAPÍTULO 9. DISEÑO ESPECÍFICO DEL SISTEMA.....	53
9.1. Diseño de la arquitectura	53
9.1.1. El Microcontrolador	53
9.1.2. El CPU.....	58
9.1.3. Set de instrucciones	58
9.1.4. Modos de operación	60
9.2. La estructura	61
9.3. Sensores fotovoltaicos	64
9.4. Celdas Fotovoltaicas.....	65
CAPÍTULO 10. DISEÑO DEL PCB.....	67
CAPÍTULO 11. FABRICACIÓN DEL PCB.....	69
11.1. Versión 1	70
11.2. Versión 2	71
CAPÍTULO 12. MONTAJE DEL MECANISMO.....	73
12.1. Fuente de alimentación.....	73
12.1.1. Celdas fotovoltaicas.....	73
12.1.2. Almacenado de energía.....	75
12.2. Selección de motores	75
12.3. Protección	76
12.4. Montado de motores	77
12.5. Montado de sensores	78
CAPÍTULO 13. PROGRAMACIÓN DEL DISPOSITIVO.....	79
13.1. Análisis	79
13.2. Algoritmo.....	83
13.3. Programación.....	84
13.3.1 Cabecera	84
13.3.2. Cuerpo	85
CAPÍTULO 14. PRUEBAS	90
14.1. Prueba al Sensor0	91
14.2. Prueba al Sensor1	92
14.3. Prueba Sensor2	93
14.4. Prueba Sensor3	94

14.5. Prueba Sensor4	95
14.6. Prueba Sensor5	96
14.7. Prueba Sensor6	97
14.8. Prueba Sensor7	98
CAPÍTULO 15. ESTUDIO ECONÓMICO	99
15.1. Objetivos del estudio económico.....	99
15.2. Determinación el monto de inversión total del proyecto.....	99
15.3. Tabla gastos de administración.....	100
15.4. Presupuesto de inversión total	101
15.5. Ahorro de luz y dinero	101
CAPÍTULO 16. CONCLUSIONES	102
CAPÍTULO 17. TRABAJO A FUTURO	103
GLOSARIO	104
REFERENCIAS	107

Índice de tablas

Tabla 1. Sistemas diseñados en el extranjero.	18
Tabla 2. Trabajos terminales de la ESCOM.	21
Tabla 3. Delimitación geográfica.....	24
Tabla 4. Elevación y acimut al amanecer y anocheceer en primavera. Fuente: SunEarthTools.com.	29
Tabla 5. Elevación y acimut al amanecer y anocheceer en verano. Fuente: SunEarthTools.com...	31
Tabla 6. Elevación y acimut al amanecer y anocheceer en otoño. Fuente: SunEarthTools.com.....	33
Tabla 7. Elevación y acimut al amanecer y anocheceer en invierno. Fuente: SunEarthTools.com.	35
Tabla 8. Niveles de iluminación. Fuente: Secretaría del Trabajo y Prevención Social.	37
Tabla 9. Niveles máximos permisibles del factor de reflexión. Fuente: Secretaría del Trabajo y Prevención Social.	37
Tabla 10. Relación entre el índice de área y el número de zonas de medición. Fuente: Secretaría del Trabajo y Prevención Social.	39
Tabla 11. Medición de luxes en los salones de la ESCOM.	42
Tabla 12. Longitud de onda de los colores. Fuente: Color, Wikipedia.	44
Tabla 13. Tabla de resultados de los materiales reflejantes.	49
Tabla 14. Tabla de resultados de luxes reflejados por el espejo en las aulas de ESCOM.	50
Tabla 15. Resultados con película y sin película.	50
Tabla 16. Distribución y función de las terminales del Microcontrolador. Fuente: MSP430x2xx Family, User´s Guide.	57
Tabla 17. Formato de instrucción. Fuente: MSP430x2xx Family, User´s Guide.	58
Tabla 18. Modo de direccionamiento. Fuente: MSP430x2xx Family, User´s Guide.	59
Tabla 19. Set de instrucciones. Fuente: MSP430x2xx Family, User´s Guide.	59
Tabla 20. Valores sensados de elevación.	80
Tabla 21. Valores sensados de azimut.....	81
Tabla 22. Ángulos de los servos de elevación.	90
Tabla 23. Ángulos de los servos de azimut.	90
Tabla 24. Costo del proyecto.	99

Tabla 25. Costo de proyecto con material y herramientas.....	100
Tabla 26. Gastos administrativos.....	100
Tabla 27. Inversión total.....	101
Tabla 28. Tabla de consumos y costos.....	101

Índice de figuras

Figura 1. Iluminación del observatorio astronómico de Xochicalco. Fuente: medios/INAH. Cien años de caminar Xochicalco.....	16
Figura 2. Esquema del observatorio de Xochicalco. Fuente: realizado por arqueólogo E. Bejarano, INAH, 21.6. 1980.....	17
Figura 3. Delegación Gustavo A. Madero. Fuente: Noticieros Televisa.....	23
Figura 4. Escuela Superior de Cómputo. Fuente: GoogleMaps.....	24
Figura 5. Inclinación del eje rotacional de la Tierra. Fuente: Los movimientos del sol en el cielo [21].	25
Figura 6. Representación del equinoccio y solsticio. Fuente: Movimiento Aparente del Sol [22].	26
Figura 7. Posición de la Tierra en el transcurso del año. Fuente: Fuente: Movimiento Aparente del Sol [22].	26
Figura 8. Trayectoria del Sol en diferentes partes de la Tierra. Fuente: astroyciencia.com.....	26
Figura 9. Posición del Sol en ESCOM en primavera. Fuente: SunEarthTools.com.....	27
Figura 10. Gráfica de posición del Sol en primavera. Fuente: SunEarthTools.com.....	28
Figura 11. Gráfica de elevación y acimut en primavera. Fuente: SunEarthTools.com.....	28
Figura 12. Posición del Sol en ESCOM en verano. Fuente: SunEarthTools.com.....	29
Figura 13. Gráfica de posición del Sol en verano. Fuente: SunEarthTools.com.....	30
Figura 14. Gráfica de elevación y acimut en verano. Fuente: SunEarthTools.com.....	30
Figura 15. Posición del Sol en ESCOM en otoño. Fuente: SunEarthTools.com.....	31
Figura 16. Gráfica de posición del Sol en otoño. Fuente: SunEarthTools.com.....	32
Figura 17. Gráfica de elevación y acimut en otoño. Fuente: SunEarthTools.com.....	32
Figura 18. Posición del Sol en ESCOM en invierno. Fuente: SunEarthTools.com.....	33
Figura 19. Gráfica de posición del Sol en invierno. Fuente: SunEarthTools.com.....	34
Figura 20. Gráfica de elevación y acimut en invierno. Fuente: SunEarthTools.com.....	34
Figura 21. Espectro electromagnético. Autor: Horst Frank, Wikipedia [27]......	44
Figura 22. Eje x: transmisión de luz; Onda color azul: campo eléctrico; Onda color rojo: campo magnético. Autor: Emmanuel Boutet, Wikipedia.....	45
Figura 23. Rayos en una superficie. Fuente: La física de la óptica [34].	46
Figura 24. Reflexión sobre superficie rugosa y plana. Fuente: Física 2ºB [35]......	47
Figura 25. Refracción de un rayo de luz láser en aire y agua. Fuente: Experimento de láser y espejo, fisicanuevea.bligoo.com.....	47
Figura 26. Rayo refractado y ángulo de refracción. Fuente: Teoría de la naturaleza de la luz.	48
Figura 27. Modelo de prototipo. Fuente: Requisitos De Software [36].	51
Figura 28. Diagrama a bloques del sistema seguidor solar.	52
Figura 29. Tarjeta Launchpad MSP-EXP430G2 Rev 1.5. Fuente: http://43oh.com	53
Figura 30. Microcontrolador M430G2553. Fuente: global Wholesale, http://es.aliexpress.com ..	54
Figura 31. Pines del microcontrolador MSP430G2553. Fuente: MSP430x2xx Family, User’s Guide.	54
Figura 32. Configuración de pines MSP430G2553. Fuente: MSP430x2xx Family, User’s Guide.	55
Figura 33. Configuración de pines MSP430G2553. Fuente: MSP430x2xx Family, User’s Guide.	58

Figura 34. Corriente típica consumida con respecto a los modos de operación. Fuente: MSP430x2xx Family, User´s Guide.	61
Figura 35. Diagrama funcional del microcontrolador. Fuente: MSP430x2xx Family, User´s Guide.	61
Figura 36. Motores y estructura.	62
Figura 37. Motores y estructura (segunda vista).	62
Figura 38. Estructura, celda solar y barras de sensores.	63
Figura 39. Base completa y sistema montado totalmente.	63
Figura 40. Trayectoria común de un seguidor solar típico.	64
Figura 41. Curva característica de una fotorresistencia (LDR). Fuente: http://picaxe.electronicasimple.com	64
Figura 42. Barra de sensores.	65
Figura 43. Representación del flujo de electrones. Fuente: Celdas fotovoltaicas [39].	65
Figura 44. Proceso de obtención de energía eléctrica. Fuente: Celdas fotovoltaicas [39].	66
Figura 45. Diseño esquemático.	67
Figura 46. Diseño final del PCB.	68
Figura 47. CAM Jobs.	69
Figura 48. Archivos creados por EAGLE.	69
Figura 49. Servomotor 1711MG, PowerHD. Fuente: ebay.es.	76
Figura 50. Esfera de acrílico.	76
Figura 51. Parte superior, central e inferior de la estructura de Sintra.	77
Figura 52. Ángulos de elevación obtenidos en el contenedor.	79
Figura 53. Ángulos de azimut obtenidos en el contenedor.	80
Figura 54. Fórmula para sacar el ángulo B. Fuente: vitutor.com.	82
Figura 55. Ángulo de 16.47° definido.	82
Figura 56. Representación del problema del ángulo de 26°.	83
Figura 57. Vista aérea del reflejo del Sol en el punto inicial del sistema.	84
Figura 58. Archivo Servo.h.	84
Figura 59. Valores para pruebas.	90
Figura 60. Sensor0, monitor serial.	91
Figura 61. Sensor1, monitor serial.	92
Figura 62. Sensor2, monitor serial.	93
Figura 63. Sensor3, monitor serial.	94
Figura 64. Sensor4, monitor serial.	95
Figura 65. Sensor5, monitor serial.	96
Figura 66. Sensor6, monitor serial.	97
Figura 67. Sensor7, monitor serial.	98

Índice de ilustraciones

Ilustración 2. Circuito en placa de cobre.	70
Ilustración 3. Versión 1 de la placa final.	70
Ilustración 4. PCB con elementos electrónicos soldados.	71
Ilustración 5. Parte frontal del PCB finalizado.	72
Ilustración 6. Parte trasera del PCB finalizado.	72
Ilustración 7. Celdas pegadas y soldadas en el acrílico.	74
Ilustración 8. Medición de voltaje con el multímetro.	74
Ilustración 9. Celdas fotovoltaicas.	74
Ilustración 10. Montado de la estructura de los servomotores.	78
Ilustración 11. Sensores montados en la estructura.	78

Ilustración 12. Prueba Sensor0	91
Ilustración 13. Prueba sensor1.....	92
Ilustración 14. Prueba Sensor2.....	93
Ilustración 15. Prueba Sensor3.....	94
Ilustración 16. Prueba Sensor4.....	95
Ilustración 17. Prueba sensor5.....	96
Ilustración 18. Prueba Sensor6.....	97
Ilustración 19. Prueba Sensor7.....	98

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Energía de un fotón.....	43
Ecuación 2. Ecuación de ondas de Dirac.....	46
Ecuación 3. Formula de Snell.....	48

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

1.1.Introducción

En la actualidad, la energía que se consume proviene principalmente de combustibles fósiles como el petróleo, el gas natural y el carbón, estos suministran el 90% de la energía primaria, el consumo de esta, a nivel mundial es de 12000 millones de toneladas de petróleo por año. (Fuente: Prospectiva de energías renovables 2012-2016).

La energía eléctrica se considera un tipo de energía “limpia” ya que consumirla no contamina, pero una gran parte de esta se produce a través de enormes centrales térmicas y nucleares que generan gases y residuos radioactivos los cuales dañan gravemente la integridad del planeta, además de que el costo para producir electricidad es muy elevado.

Por otra parte se ha buscado que la luz generada de forma artificial pueda asimilar la luz natural y se han creado tonalidades e intensidades de luminarias que puede ser dañina para la salud provocándole enfermedades, principalmente a las personas que padecen de un tipo de hipersensibilidad fotosensible, esto es debido a que este tipo de luz se compone por luz visible, luz ultravioleta (UV) e infrarroja (IR) que al ser absorbida por las células puede provocar una alteración en el reloj biológico, puede provocar una serie de reacciones químicas negativas para el cuerpo como la oxidación, afectar el sistema hormonal, aumentar el nivel de estrés y provocar lesiones cutáneas y oculares.

Afortunadamente existen diversas alternativas para producir electricidad a través de energías renovables, como puede ser la energía eólica, geotérmica, hidroeléctrica, mareomotriz entre otras, las cuales son inagotables, resultan ecológicas y baratas a largo plazo.

La luz solar es una gran fuente de energía renovable que se puede usar como alternativa ecológica, esta se va a agotar en aproximadamente 5000 millones de años (fuente: Sol, Wikipedia). Esta energía ha sido utilizada para calentar alimentos y agua, pero en los últimos tiempos también se ha utilizado principalmente para alimentar paneles solares, los cuales se encargan de transformar la luz captada por el Sol en electricidad. También suele utilizarse para, que a través de un proceso de refracción y reflexión, iluminar ciertos espacios en algún edificio, brindando de esta forma una luz de confort y bienestar para los seres vivos.

Dentro de la naturaleza podemos observar un comportamiento de algunas plantas que presentan un tropismo; reaccionan ante un estímulo, provocando que se muevan o giren (en este caso un tipo de fototropismo ya que es un estímulo luminiscente llamado heliotropismo debido a que involucra un estímulo solar), la más conocida de las especies de este tipo es el girasol.

1.1. Justificación de elección

El ser humano ha revolucionado diferentes formas de obtener iluminación para las viviendas, escuelas, trabajos, etc. Generalmente recurriendo a la energía natural y artificial, siendo esta última un contaminante y además en los últimos años teniendo un costo bastante elevado.

Al crear el sistema seguidor solar se obtendrá la reducción de luz artificial en habitaciones poco iluminadas, además de obtener luz natural. Antes de iniciar el prototipo hay que aclarar cuáles son los compromisos a cumplir, siendo uno muy importante la sustentabilidad que otorgará el sistema. Ecológicamente hablando, al ser luz natural la que se distribuirá a la habitación se tendrá una reducción de contaminantes artificiales, los gastos y el mantenimiento serán más bajos que los otros servicios de luz artificial que actualmente existen en la República Mexicana, teniendo en cuenta que este sistema refleja la luz solar, no se podrá librar del todo de la luz artificial.

Gracias a que el tipo de energía proviene de la luz solar, se obtienen muchos beneficios para el ser humano. La luz del Sol estimula la transformación de provitamina D a vitamina D en la piel, la cual es fundamental ya que participa en procesos tan importantes como la absorción y el mantenimiento de los niveles de calcio, el cual, es fundamental para mantener el funcionamiento del sistema nervioso y la estructura adecuada de los huesos y los dientes.

La radiación solar ayuda a prevenir y a manejar el acné, y, en casos severos como la psoriasis (enfermedad de la piel transmisible de padres a hijos que provoca la aparición de manchas rojas y escamosas.), los rayos solares son determinantes para ayudar a remitir la enfermedad.

El Sol también puede aumentar el número de glóbulos blancos en sus dos líneas, neutrófilos y linfocitos; estos conforman una parte del sistema de defensa del organismo humano contra las infecciones.

Cuando se dilatan las arterias de la piel se reduce la cantidad de sangre concentrada en los órganos. Esto baja la presión arterial, lo que es ideal para los hipertensos. El corazón se contrae por acción del calcio; cuando es insuficiente, las hormonas paratiroides (hormona responsable de regular los niveles de fósforo y calcio en el cuerpo) lo toman de los huesos para dárselo. Pero cuando una persona se asolea se disminuyen los niveles de estas hormonas.

En la vida sexual es importante ya que los rayos del Sol también incrementan ligeramente los niveles de testosterona, que en hombres y mujeres es la hormona del deseo.

Los rayos ultravioleta regulan la producción de melatonina (hormona que ayuda a definir los ciclos de sueño), con lo que reduce estos niveles en el humano motivo por lo cual le ayuda a sentirse más despierto.

La radiación del Sol promueve la síntesis de la serotonina, una sustancia relacionada con el bienestar y que también ayuda a regular el sueño y hasta la conducta sexual.

El Sol promueve una protección natural frente a ciertos cánceres; al parecer, su acción es directa sobre algunas células, y, por efecto de la vitamina D, quienes toman el Sol en forma regular tienen una menor incidencia de cáncer de mama y de colon.

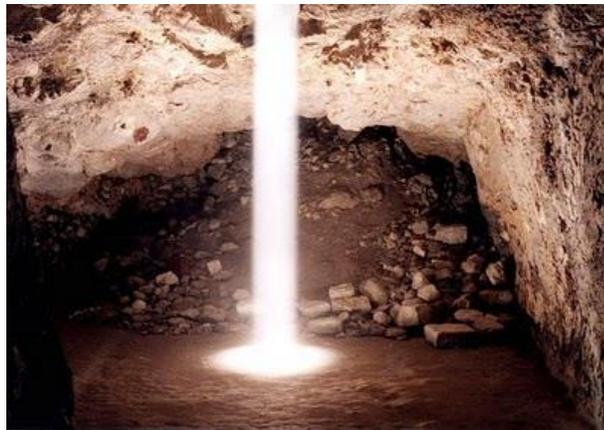
Los beneficios que se tendrán al usar el seguidor solar, además de los anteriores mencionados y gracias a las propiedades benéficas de los rayos del Sol, son:

- Prevención de fatiga visual (menor uso de luz artificial y más natural).
- Reducción de accidentes (tendrá más atención a sus acciones cotidianas).
- Buena productividad
- Buen ánimo
- Sentimiento de confort hacia la habitación
- Mejor percepción de formas y colores.

CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE

2.1. Observatorio astronómico de Xochicalco

Un sistema creado por la antigua civilización de xochicalcas aproximadamente entre 650 y 900 d.C. este observatorio tenía el propósito de estudiar el movimiento del Sol, además de ser usado para ceremonias religiosas. Lo más interesante de este observatorio astronómico es que de 30 de Abril al 5 de Agosto, a la hora del medio día astronómico, los rayos del Sol penetran de forma perpendicular en la chimenea de la bóveda lo cual da como resultado que toda la habitación se ilumine como se muestra en la figura 1. En la figura 2 se pueden apreciar algunos apuntes más específicos del observatorio.



*Figura 1. Iluminación del observatorio astronómico de Xochicalco.
Fuente: medios/INAH. Cien años de caminar Xochicalco.*

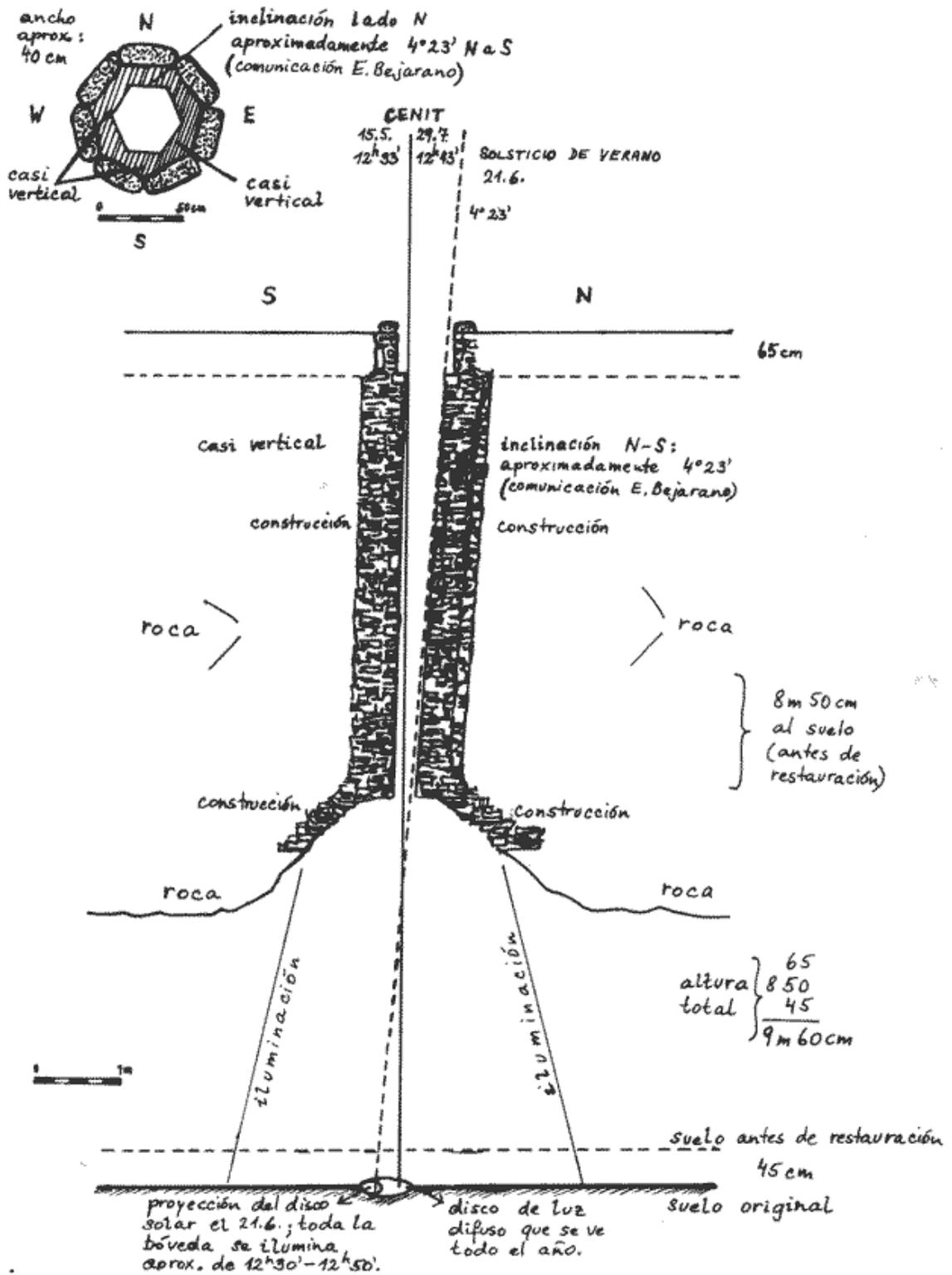


Figura 2. Esquema del observatorio de Xochicalco. Fuente: realizado por arqueólogo E. Bejarano, INAH, 21.6. 1980.

2.2. Sistemas desarrollados en el extranjero

Se encontró que existen varias empresas que emplean diferentes tipos de tecnologías que cumplen la misión de otorgar luz natural en los centros de trabajo, algunos diseños emplean mecanismos similares a los que se proponen en este trabajo, otras proponen tecnologías completamente diferentes.

Las compañías son:

1. Sistema comercial: Creadores del concepto de tragaluz tubular en 1992 son una empresa líder en el desarrollo de iluminación natural.
2. Prototipo: Elaborado por Alfredo Mosed, un mecánico originario de Sao Pablo, Brasil.
3. Sistema comercial: Creado por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla como un producto en una empresa llamada “SOLAR MEMS” creada en el 2009.
4. Sistema comercial: Creado por una empresa sueca pionera en el uso de fibras ópticas para transportar luz solar.

A continuación en la tabla 1 describimos las características de cada uno de los sistemas, además de su precio al público (si es que lo tiene).

Sistema	características	Precio del sistema
SOLATUBE	Tubos con recubrimiento reflejante que se colocan en un techo. Permite el reflejo de luz solar y la distribuye en una habitación.	Desde: 360.00 Dólares Hasta: 865.00 Dólares
“UN LITRO DE LUZ”	Barato ya que utiliza solamente una botella y un químico muy común (cloro). Solamente puede ser utilizado en casas pequeñas.	NO DEFINIDO
HELIOSTATO SIR	Utiliza espejos, acero inoxidable y aluminio además de un sistema electrónico.	2822.93 Euros
PARANS	Utiliza paneles que captan la luz del Sol, los cuales distribuyen esta al interior de los edificios a través de fibra óptica.	10,000 Dólares

Tabla 1. Sistemas diseñados en el extranjero.

2.3. Sistemas desarrollados en México

Los sistemas antes descritos son ejemplos hechos por parte de organizaciones extranjeras y por una universidad española. En México lamentablemente no existen trabajos similares que se hayan realizado con anterioridad; sin embargo hay estudios, investigaciones y sistemas que, si bien no desarrollan el mismo objetivo que se propone en este trabajo, contemplan la problemática de la mala administración de luz en los lugares de trabajo, así como también la utilización de diferentes tecnologías, ya aplicadas en diferentes campos, que competen al sistema que se va a desarrollar en este trabajo terminal.

2.3.1. Sistema fototérmico para aprovechar la luz solar

Por parte del Instituto Politécnico Nacional (IPN) en el año de 2013 el investigador de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) Gabriel Barbosa Saldaña desarrolló un sistema solar de disco el cual permite concentrar la energía solar y transformarla en energía térmica.

Este sistema consiste en un brazo de 2 grados de libertad, el primer eje es acimut, esto quiere decir que se mueve de este a oeste con un total de 0 a 180° para seguir al Sol y el otro eje es el de elevación de 0 a 90° de desplazamiento según la altitud solar. Para que el sistema fuera optimo, el mecanismo tuvo que tener la característica de poder seguir al Sol. Existen algoritmos y relaciones geométricas las cuales calculan la posición del Sol a lo largo del día, estos cálculos se pueden realizar por medio de la latitud en la que se encuentre el dispositivo y el día del año. Gabriel Barbosa programó estos algoritmos matemáticos para que, al agregar la latitud y la fecha, el mecanismo se posicionara.

El material del disco es de fibra de vidrio y está envuelto con “mylar” el cual es un material de tipo reflexivo el cual se adhiere a la superficie del disco. La forma del disco también es un factor importante ya que Gabriel tuvo que hacer cálculos para que la concentración de radiación sea la óptima. La máxima temperatura que logró recaudar fue de 90°C.

2.3.2. Automóvil eléctrico adaptado con paneles solares

Otro sistema desarrollado en el 2011 por la ESIME unidad Zacatenco del IPN es el de un automóvil eléctrico el cual es alimentado por energía solar y tiene una autonomía de manejo de 5 a 6 horas. Sus creadores son Ricardo Mondragón Alameda, Gabriel Nicolás Lagunas, Iván Francisco Bravo Castillo, Eduardo Colín Tetlacuilo, Dany Godínez Reveles, Juan Antonio Romero de Amarillas Sánchez, Gabriel Cruz Lozano, Ernesto Govantes García y Uriel Isaac Torres Bello, coordinados por el ingeniero Fernando Daniel Fuentes Marbán, de la carrera de Ingeniería en Sistemas Automotrices.

Los paneles solares generan una potencia de 220 watts y están fabricados de silicio y platino. Por medio de un circuito electrónico y de baterías de 3.6 volts se guarda la energía colectada. El auto tiene un peso de 170 kilogramos y unas medidas de 1.90 metros por 1.30 metros, con su motor de 2.5 caballos de fuerza logra alcanzar una velocidad de 50 kilómetros por hora.

2.3.3. Estufa urbana de concentración solar

Este proyecto se desarrolló con la colaboración del CINVESTAV (Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional) y ESIME con el apoyo del Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal. La estufa utiliza la energía solar para después transformarla en energía térmica, el sistema tiene un mecanismo el cual le permite seguir la posición del Sol para tener una máxima concentración de calor, el cual puede llegar a reunir 560°C en su punto central a 950 watts/m^2 , al igual que el sistema fototérmico este sistema tiene 2 grados de libertad, el horizontal que le permite girar 360° de este a oeste y el eje de elevación. Tiene sensores fotovoltaicos los cuales le permite posicionarse en la dirección del sol. El concentrador solar está conformado por 610 espejos planos de 100 cm^2 .

2.3.4. Concentrador solar

El universitario Ernst Kussul del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en conjunto de colaboradores, crearon un concentrador solar con micro espejos para producir energía eléctrica. El prototipo es de costo y peso bajo. Para generar mayor concentración de luz solar y al mismo tiempo generar más energía eléctrica, los espejos del prototipo se posicionaron de forma tipo en punto. El diseño presentado está formado por dos grupos de espejos en donde la luz se concentra, además crearon un modelo matemático con el cual se calcula el factor de concentración. Kussul esclarece que México es una zona perfecta de energía renovable como lo es la energía solar y declara que por ejemplo que en la época menos calurosa se logra obtener cuatro kilowatts/hora por metro cuadrado de superficie, por lo cual se calcula que se podrían crear sistemas de energía renovables como las del prototipo que presentó.

2.4. Sistemas desarrollados en la ESCOM

Los sistemas desarrollados dentro de la Escuela Superior de Cómputo (ESCOM) del IPN se visualizan en la tabla 2.

No. De TT	Trabajos terminales	Características
TT0029	Sistema Integral para Alumbrado. (1994-1998)	Desarrollar e implementar un sistema eficiente para el cálculo de alumbrado por el método de punto por punto. Sistema para el sensado de flujo luminoso a través de una computadora.
TT0205	Edificio Inteligente (Domótica). (1997-2001)	Control y monitoreo de algunas variables de las que consta el edificio inteligente.
2008-0083	Detección de múltiples puntos en movimiento en el espacio libre y manipulación de aplicaciones mediante seguimiento de puntos de luz.	No definido
TT0012	Control de un brazo pintor.	Diseñar y construir un sistema de brazo robot controlado por computadora, capaz de dibujar, tratando de emular los movimientos propios que el brazo humano realiza para tal efecto.
1999-0142	Control fino de un brazo artificial.	Diseño, construcción y control de un prototipo de mano artificial con 3 dedos, sobre la cual el usuario puede interactuar mediante la PC

Tabla 2. Trabajos terminales de la ESCOM.

CAPÍTULO 3. ESTUDIO DE MERCADO

3.1. Objetivos del estudio de mercado

- Conocer nuestros clientes potenciales.
- Identificar las deficiencias y fortalezas del proyecto
- Conocer la Viabilidad del proyecto.
- Identificar el segmento de mercado que podría estar interesado.

3.2. Definición del proyecto

El proyecto es un producto que pretende brindar iluminación basada en luz natural en ciertas partes de edificios en donde existe una deficiente o nula iluminación artificial además está pensado para zonas en donde fácilmente pueden incidir rayos de Sol.

El proyecto fue creado principalmente para iluminar ciertas aulas, talleres y laboratorios que se encuentran dentro de la Escuela Superior de Cómputo aplicado de forma experimental y como prototipo.

El prototipo funcionará en un horario aproximado de 10:00 a.m. a 6:00 p.m., no tendrá intervención humana alguna esto es que su funcionamiento además de su alimentación serán automáticos.

El proyecto de ninguna forma pretende reemplazar completamente a las iluminarias comunes, simplemente es un complemento además de una opción ecológica y sustentable para utilizar la luz solar para beneficio humano.

También para un futuro se prevé que sean utilizados con mayor frecuencia proyectos de este tipo debido a la demanda energética actual y al uso cada vez más extendido de tecnologías autosustentables y económicas que no necesitan del uso de energías que son producidas por elementos no renovables.

3.3. Naturaleza del proyecto

Nuestro proyecto utiliza materiales de larga duración y que además para el propósito del sistema no contaminan el medio ambiente, también algunos de ellos son reciclables.

Se usaron celdas solares rotas que habían sido desechadas de otros proyectos desconocidos, también se utilizaron diversos plásticos como el acrílico y la Sintra, el vidrio en el espejo, metales diversos como el cobre en los alambres y la placa fenólica, estaño para las soldaduras y fierro para los tornillos.

El proyecto utilizó condensadores electrolíticos evitando así el uso de baterías contaminantes, resistencias de carbono y semiconductores varios.

3.4. Ciclo de vida

El prototipo tiene diferentes elementos que lo componen, cuya duración es variable. Los paneles solares tienen una vida útil de 20 a 25 años, sin embargo se considera que pueden tener una vida útil de hasta 40 años, donde su desempeño puede disminuir hasta el 80% de su producción inicial después de ese tiempo máximo.

El plástico además del acrílico con los que está creada la base y el recubrimiento protector del sistema tienen una duración de decenas de años, dependiendo del tipo de plástico pero aproximadamente se calcula que duran más de 100 años.

Los motores no tienen un tiempo definido de duración ya que depende de la aplicación en la que se utilicen y el estrés además de las condiciones de temperatura y humedad a las que se sometan, aunque se calcula que para nuestro proyecto durarán de entre 4 a 6 años máximo.

El circuito junto con los componentes podría durar demasiado tiempo difícil de calcular debido a que también depende de las condiciones en las que se encuentre trabajando.

Los capacitores que son necesarios para alimentar el circuito y los motores y tienen una vida útil de 5 años aunque también depende de las cargas y descargas a las que se vean sometidos.

El sistema total se calcula que tendrá una duración mínima de 3 años, posteriormente se tendrá que dar mantenimiento a algunas de sus partes para seguir funcionando de forma óptima.

3.5. Segmentación de mercado

3.5.1. Segmentación Geográfica

Cómo ya se mencionó anteriormente, nuestro principal “cliente” es la Escuela Superior de Cómputo, en la que se instalarían los módulos en diversas partes de la zona y principalmente en las zonas en donde hace falta iluminación natural. En un futuro se pretende que el alcance de nuestro proyecto se pueda extender a otras escuelas, universidades e instituciones que requiera o necesiten nuestro sistema.



Figura 3. Delegación Gustavo A. Madero. Fuente: Noticieros Televisa.



Figura 4. Escuela Superior de Cómputo. Fuente: GoogleMaps.

En las flechas se aprecian algunas zonas en donde se podría instalar el dispositivo dentro de la institución.

GEOGRÁFICA

<i>País</i>	México.
<i>Estado</i>	Distrito Federal.
<i>Municipio o Delegación</i>	Gustavo A. Madero.
<i>Colonia</i>	Lindavista.
<i>Región</i>	Zona escolar Zacatenco.

Tabla 3. Delimitación geográfica.

3.5.2. Segmentación demográfica

Nuestro mercado va dirigido principalmente a las universidades, en este caso a la ESCOM. Con lo que los principales beneficiarios será la comunidad de dicha institución.

CAPÍTULO 4. REGISTRO DE LA TRAYECTORIA SOLAR

4.1. La trayectoria del Sol

Se sabe que el planeta Tierra tiene dos tipos de movimiento uno es la rotación en su propio eje y la otra es la traslación en la órbita alrededor del sol. La rotación en el eje terrestre es el giro de 360° del globo, que es el transcurso del día (24 horas), el día y la noche. La traslación en la órbita solar es la tierra girando alrededor del Sol, una vuelta equivale a un año terrestre.

El eje rotacional de la tierra no es perpendicular al plano orbital alrededor del Sol. La Tierra tiene una inclinación de $23^\circ 27'$ como se muestra en la figura 1. La inclinación influye en la cantidad de rayos solares que inciden con la tierra. (Fuente: Los movimientos del sol en el cielo [21]).

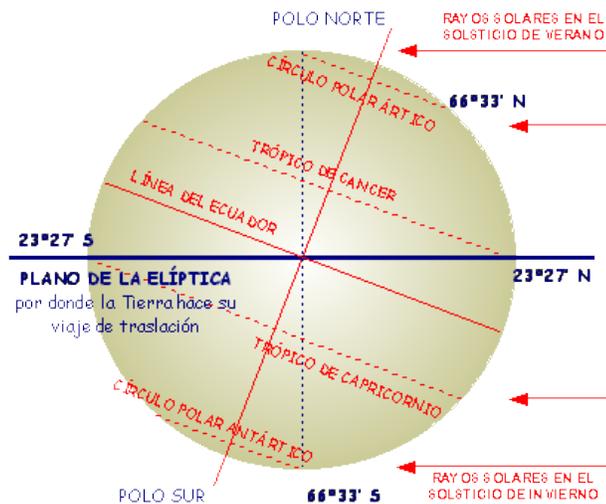


Figura 5. Inclinación del eje rotacional de la Tierra. Fuente: Los movimientos del sol en el cielo [21].

Ahora bien con la inclinación y la traslación de la Tierra es que existen las estaciones y el movimiento del Sol se encuentra en diferentes posiciones a lo largo del año. En la figura 5 se observa como la eclíptica coincide con el ecuador en las estaciones de primavera y otoño, de este modo obtenemos lo que es el equinoccio (el sol sale por el este y se oculta por el oeste). También están otros dos puntos del ecuador en el transcurso del año que son los más alejados a la eclíptica, siendo estos los solsticios.

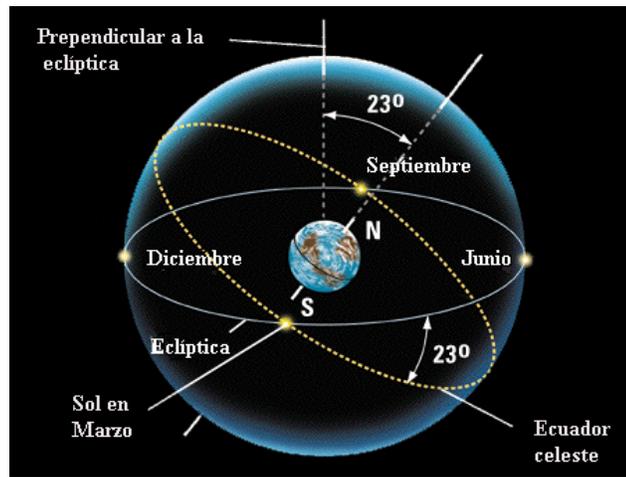


Figura 6. Representación del equinoccio y solsticio. Fuente: Movimiento Aparente del Sol [22].

En la figura 7 podemos observar el transcurso de la tierra alrededor del sol.

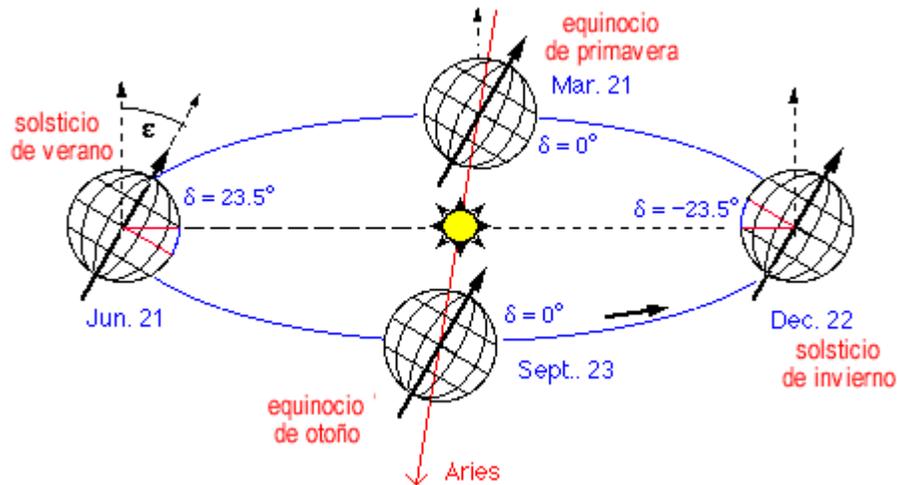


Figura 7. Posición de la Tierra en el transcurso del año. Fuente: Fuente: Movimiento Aparente del Sol [22].

Además de los factores antes descritos el movimiento aparente del Sol también depende de la latitud en la que se encuentre el observante. Como nos vayamos alejando del ecuador los días y las noches van variando de manera creciente hasta llegar a los polos, donde hay seis meses de luz y seis meses de oscuridad.

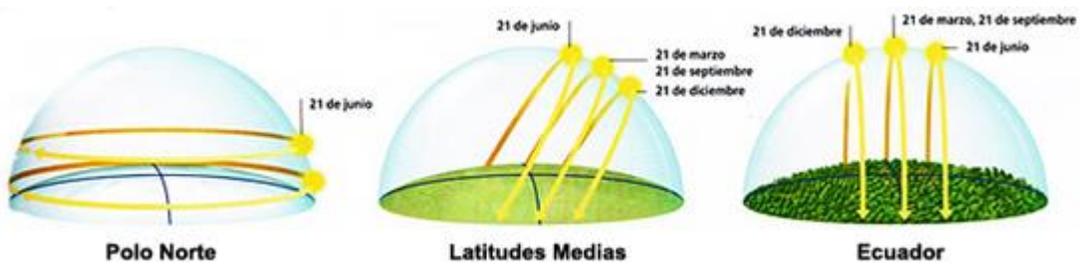


Figura 8. Trayectoria del Sol en diferentes partes de la Tierra. Fuente: astrociencia.com

Por lo tanto podemos concluir que para poder obtener la posición del Sol en un lugar determinado se necesita la fecha y dicha posición.

4.2.Registro de la trayectoria del Sol en la ESCOM a lo largo del año 2014

Para el registro de la trayectoria del Sol en la ESCOM se usó la herramienta de internet “Posición del Sol” de la página SunEarthTools.com. Esta herramienta nos permite calcular la posición del Sol en un determinado punto del globo terráqueo, con una determinada fecha y a una hora específica. Además de ofrecernos la posición del Sol, nos muestra en pantalla la dirección de los rayos del Sol, la trayectoria del Sol a lo largo del día (acimut y elevación), así como también la sombra que se puede formar a efecto de un objeto que se interpone en la trayectoria de los rayos del Sol.

Se tomó como parámetro utilizar 4 muestras, ya que el año terrestre se divide en 4 estaciones importantes y a grandes rasgos se puede representar la trayectoria del Sol. El año 2014 se tomó de muestra.

1. Primer registro: equinoccio de primavera, 20 de marzo del 2014 a las 16:57 horas.

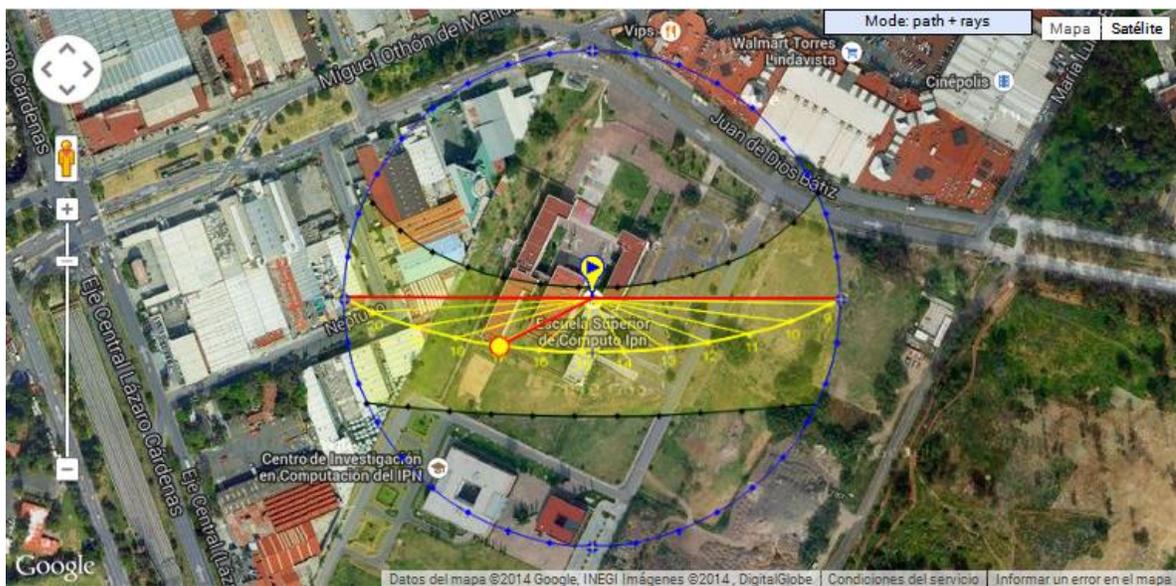


Figura 9. Posición del Sol en ESCOM en primavera. Fuente: SunEarthTools.com.

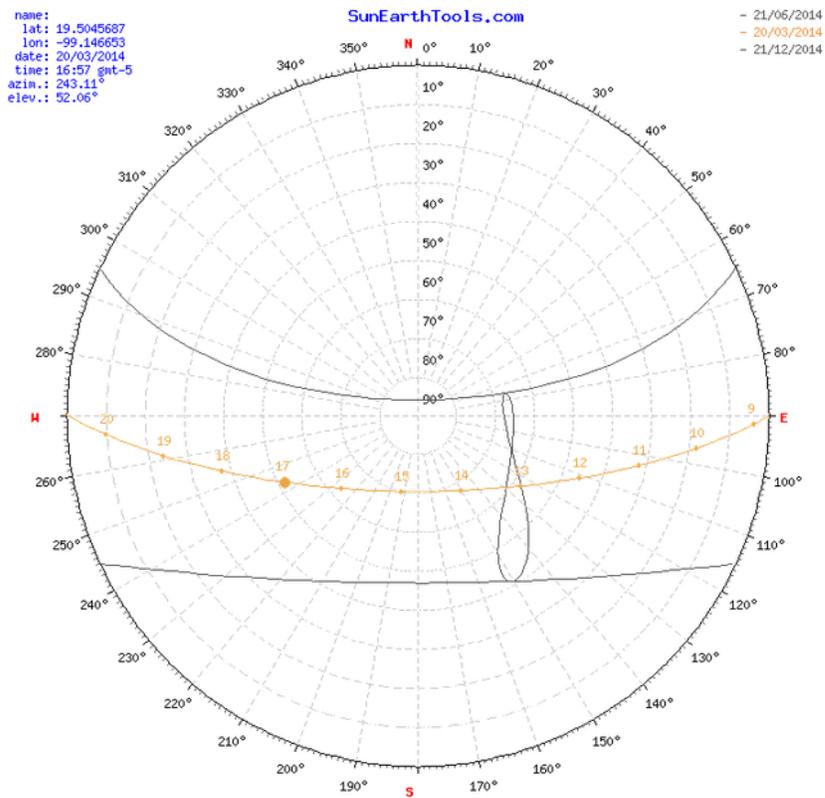


Figura 10. Gráfica de posición del Sol en primavera. Fuente: SunEarthTools.com.

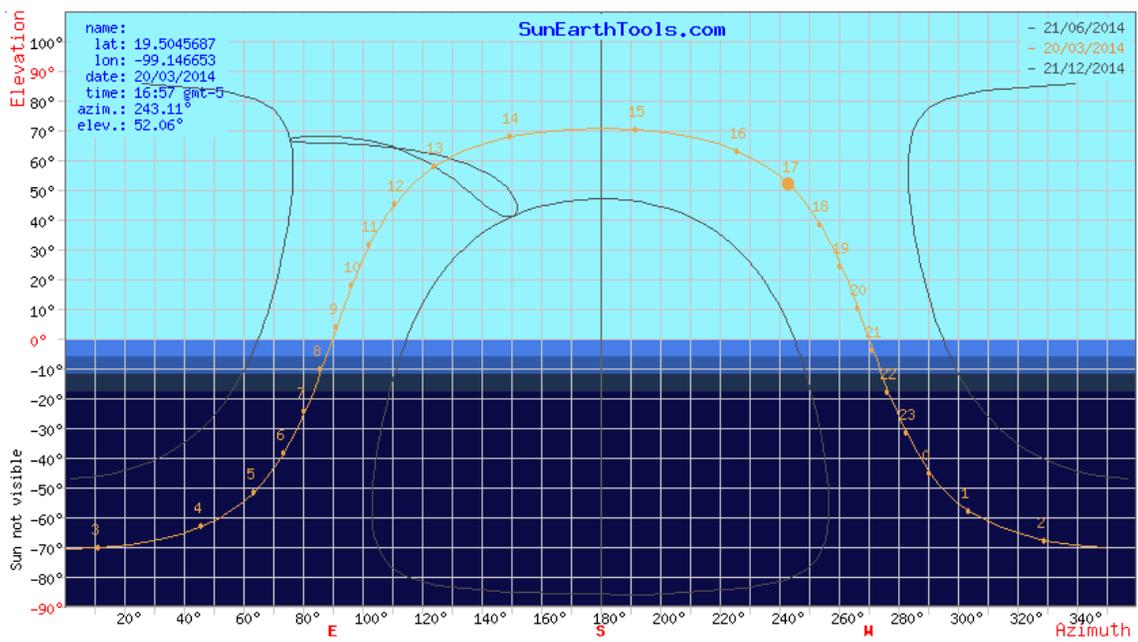


Figura 11. Gráfica de elevación y acimut en primavera. Fuente: SunEarthTools.com.

Fecha:	20/03/2014 GMT-5	
coordinar:	19.5045687, -99.146653	
ubicación:	Neptuno 43, Nueva Industrial Vallejo, 07700 Ciudad de México, D.F., México	
hora	Elevación	Azimut
08:40:38	-0.833°	89.77°
9:00:00	3.73°	91.39°
10:00:00	17.84°	96.6°
11:00:00	31.78°	102.72°
12:00:00	45.33°	111.02°
13:00:00	57.91°	124.38°
14:00:00	67.73°	149.75°
15:00:00	70.14°	191.84°
16:00:00	63.07°	225.96°
17:00:00	51.43°	243.76°
18:00:00	38.23°	253.92°
19:00:00	24.44°	260.86°
20:00:00	10.39°	266.41°
20:47:40	-0.833°	270.44°

Tabla 4. Elevación y acimut al amanecer y anoecer en primavera. Fuente: SunEarthTools.com.

2. Segundo registro: solsticio de verano, 21 de Junio del 2014 a las 10:51 horas.

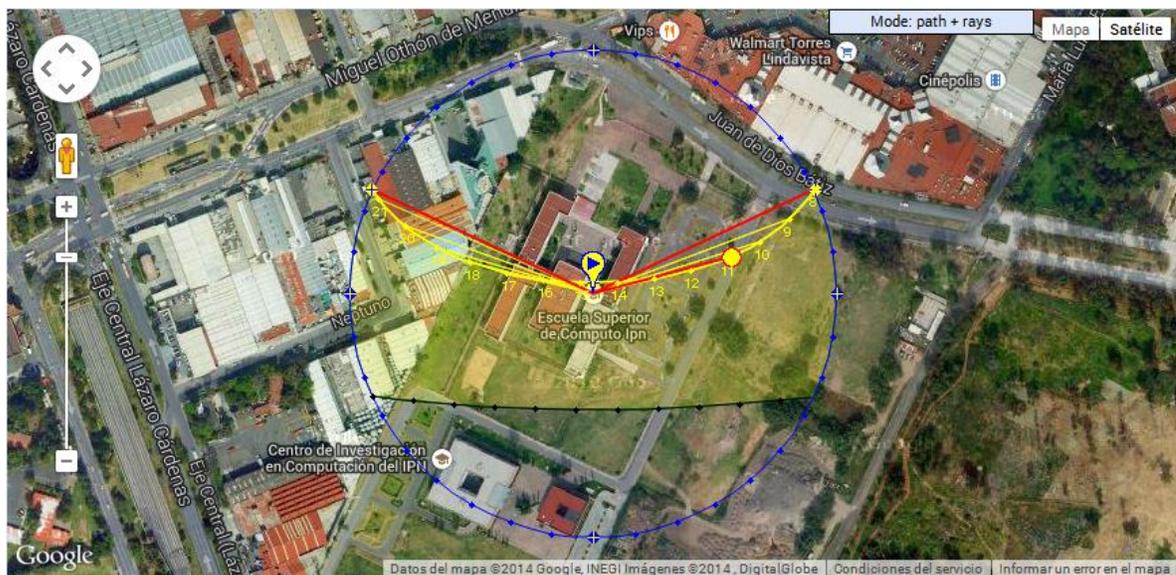


Figura 12. Posición del Sol en ESCOM en verano. Fuente: SunEarthTools.com.

name:
 lat: 19.5045687
 lon: -99.146653
 date: 21/06/2014
 time: 10:51 gmt-5
 azim.: 74.89°
 elev.: 37.28°

SunEarthTools.com

- 21/06/2014
 - 21/06/2014
 - 21/12/2014

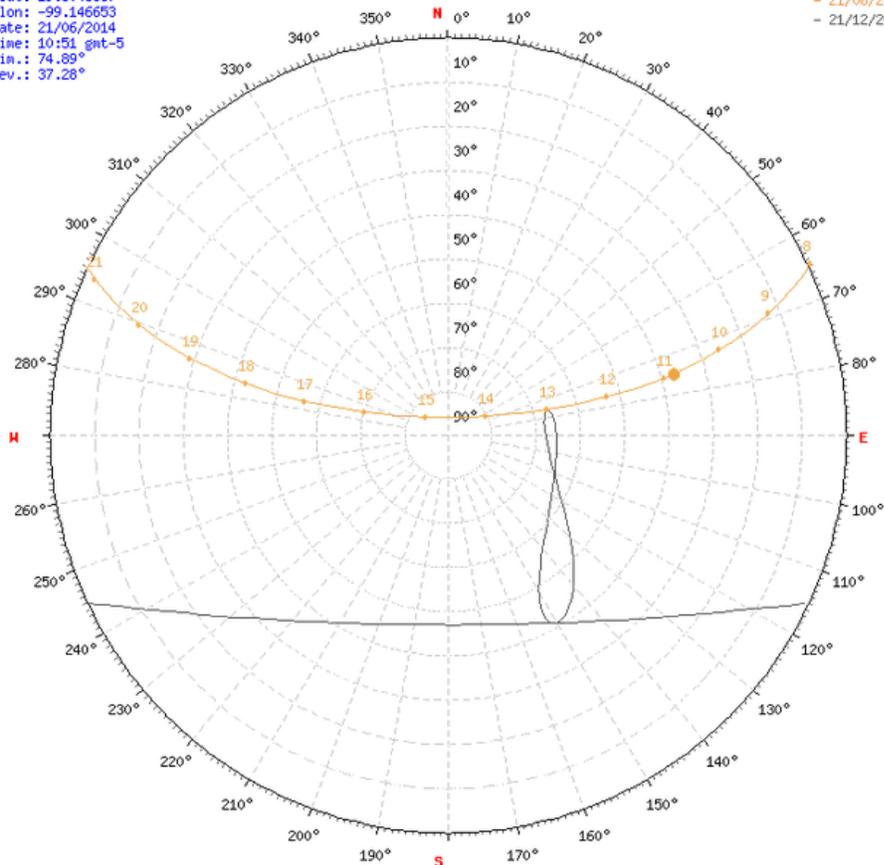


Figura 13. Gráfica de posición del Sol en verano. Fuente: SunEarthTools.com.

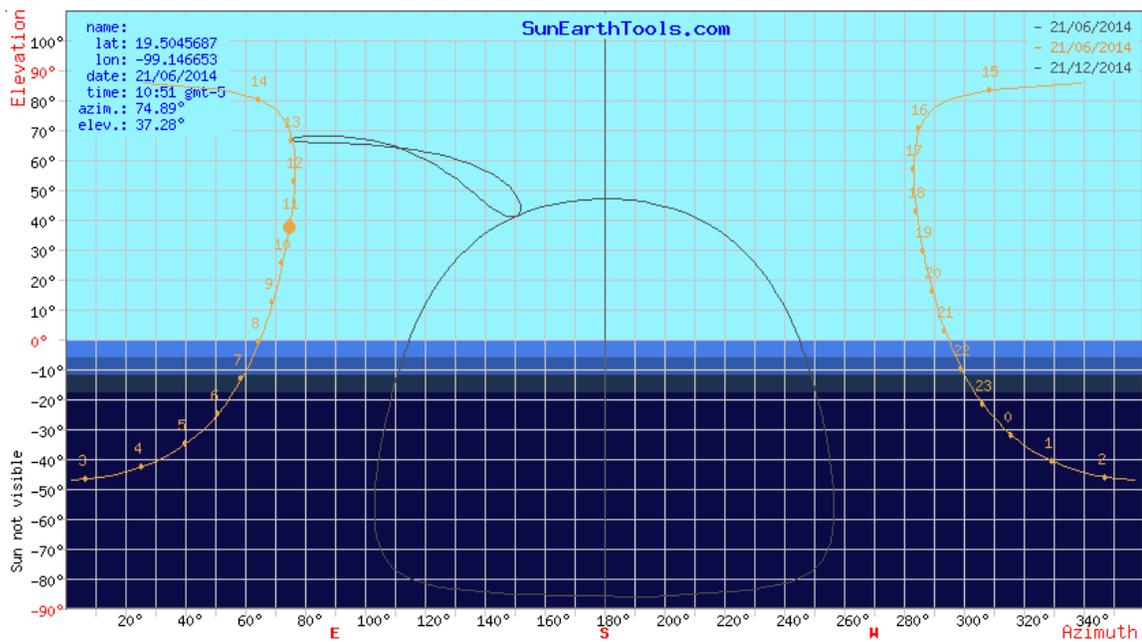


Figura 14. Gráfica de elevación y acimut en verano. Fuente: SunEarthTools.com.

Fecha:	21/06/2014 GMT-5	
coordinar:	19.5045687, -99.146653	
ubicación:	Nepluno 43, Nueva Industrial Vallejo, 07700 Ciudad de México, D.F., México	
hora	Elevación	Azimut
07:59:08	-0.833°	64.71°
8:00:00	-0.65°	64.78°
9:00:00	12.37°	69.25°
10:00:00	25.74°	72.68°
11:00:00	39.33°	75.21°
12:00:00	53.05°	76.64°
13:00:00	66.79°	75.84°
14:00:00	80.23°	64.55°
15:00:00	83.63°	309.08°
16:00:00	70.65°	285.36°
17:00:00	56.92°	283.26°
18:00:00	43.18°	284.26°
19:00:00	29.55°	286.51°
20:00:00	16.1°	289.69°
21:00:00	2.97°	293.84°
21:17:45	-0.833°	295.29°

Tabla 5. Elevación y acimut al amanecer y anoecer en verano. Fuente: SunEarthTools.com.

3. Tercer registro: equinoccio de otoño, 23 de Septiembre del 2014 a las 02:29 horas.

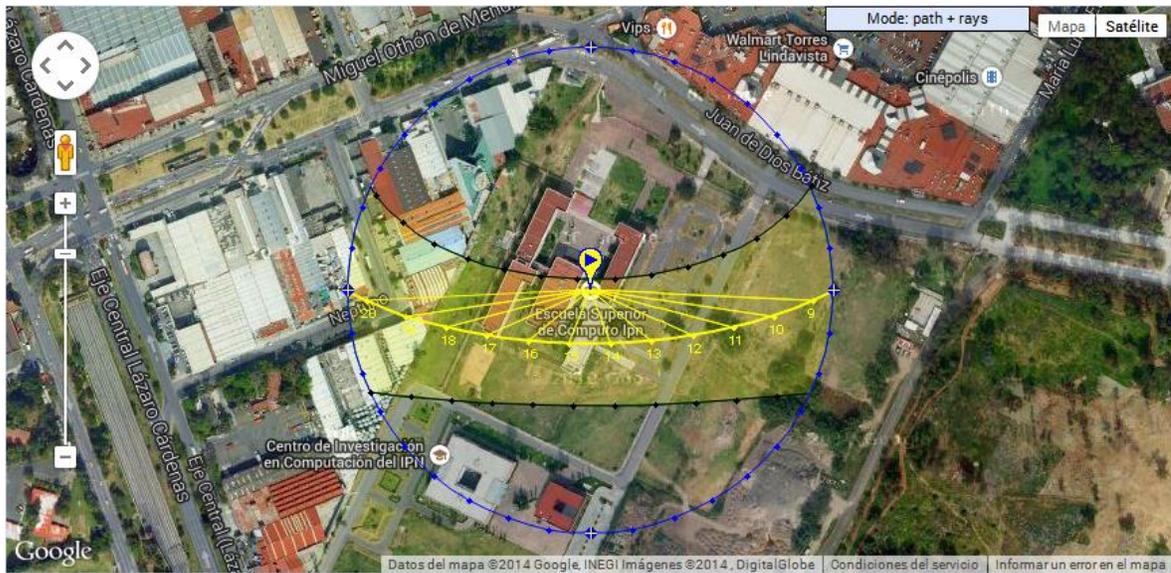


Figura 15. Posición del Sol en ESCOM en otoño. Fuente: SunEarthTools.com.

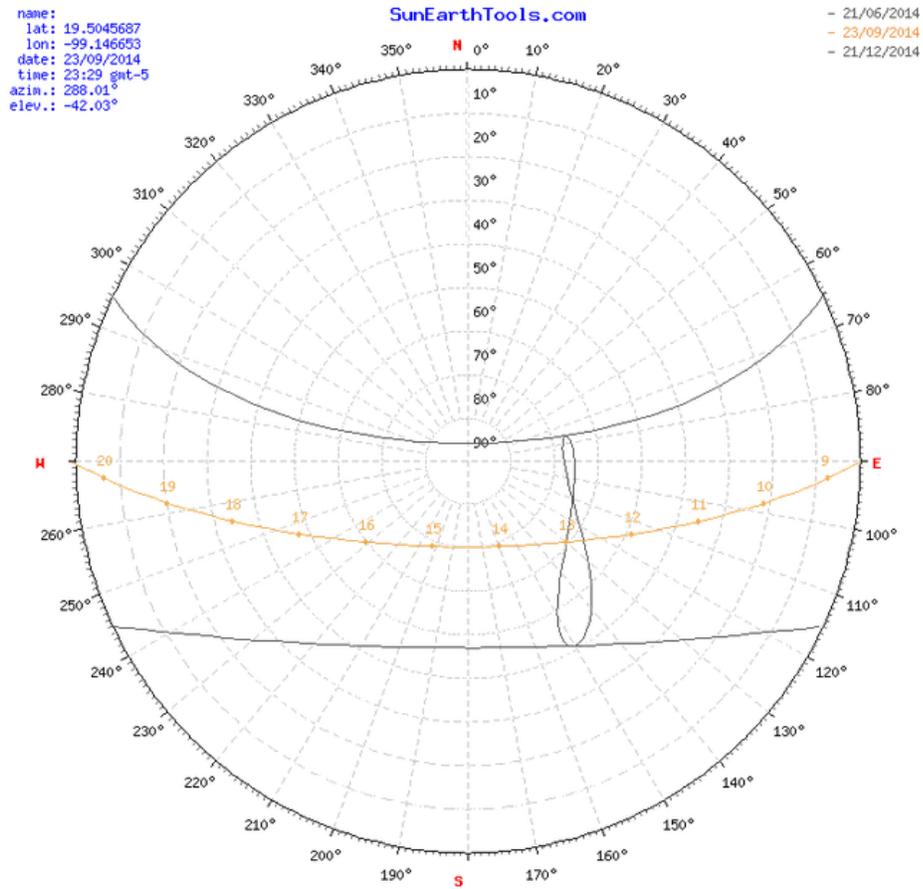


Figura 16. Gráfica de posición del Sol en otoño. Fuente: SunEarthTools.com.

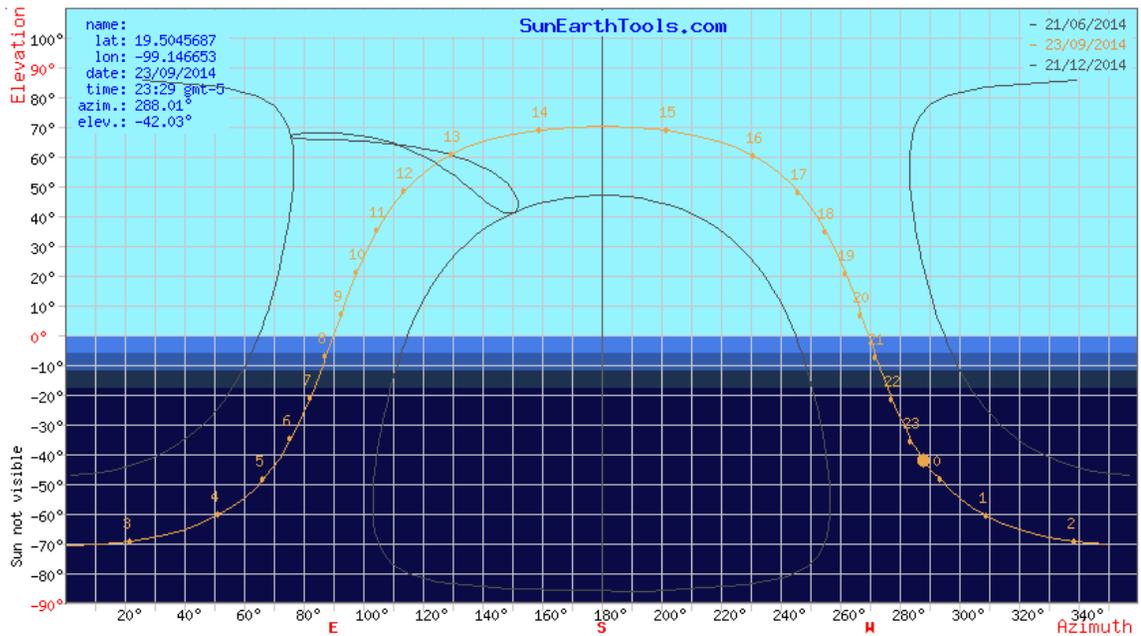


Figura 17. Gráfica de elevación y acimut en otoño. Fuente: SunEarthTools.com.

Fecha:	23/09/2014 GMT-5	
coordinar:	19.5045687, -99.146653	
ubicación:	Neptuno 43, Nueva Industrial Vallejo, 07700 Ciudad de México, D.F., México	
hora	Elevación	Azimut
08:25:40	-0.833°	89.88°
9:00:00	7.25°	92.77°
10:00:00	21.32°	98.16°
11:00:00	35.17°	104.73°
12:00:00	48.52°	114.01°
13:00:00	60.59°	129.6°
14:00:00	69.01°	159.44°
15:00:00	68.81°	201.98°
16:00:00	60.16°	231.09°
17:00:00	48°	246.31°
18:00:00	34.62°	255.42°
19:00:00	20.75°	261.9°
20:00:00	6.67°	267.25°
20:31:50	-0.833°	269.91°

Tabla 6. Elevación y acimut al amanecer y anochecer en otoño. Fuente: SunEarthTools.com.

4. Cuarto registro: solsticio de invierno, 21 de diciembre del 2014 a las 23:03 horas.

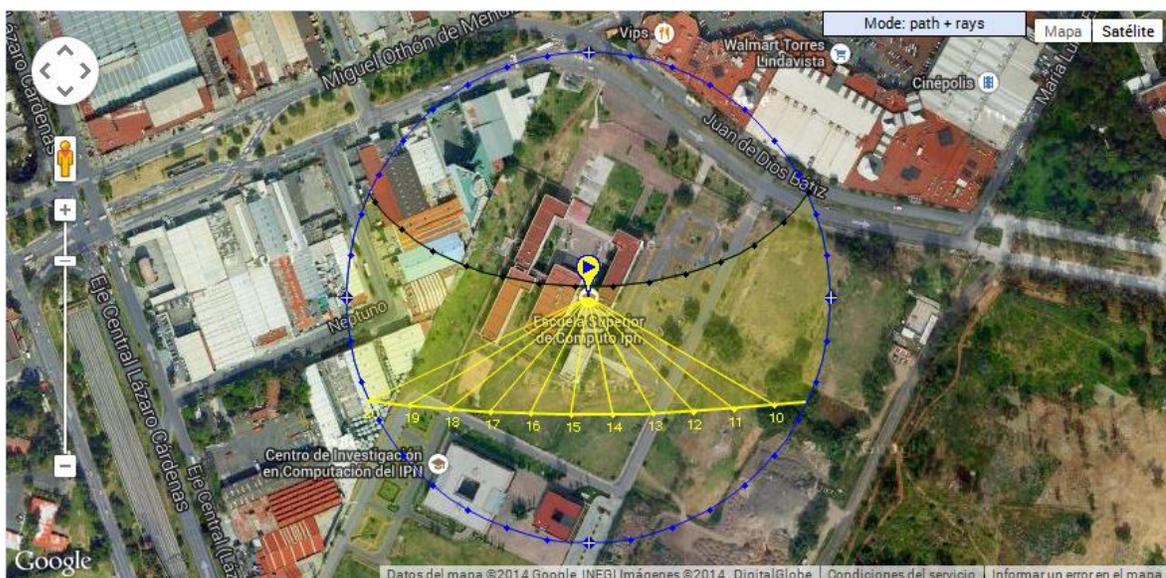


Figura 18. Posición del Sol en ESCOM en invierno. Fuente: SunEarthTools.com.

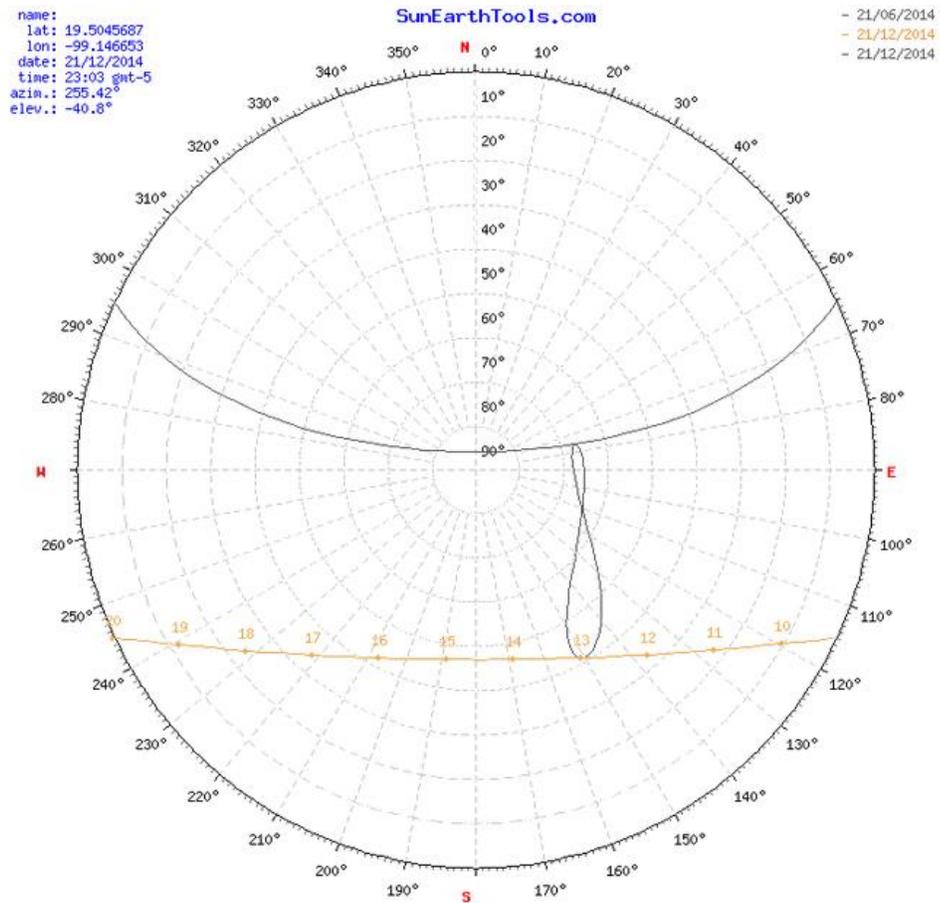


Figura 19. Gráfica de posición del Sol en invierno. Fuente: SunEarthTools.com.

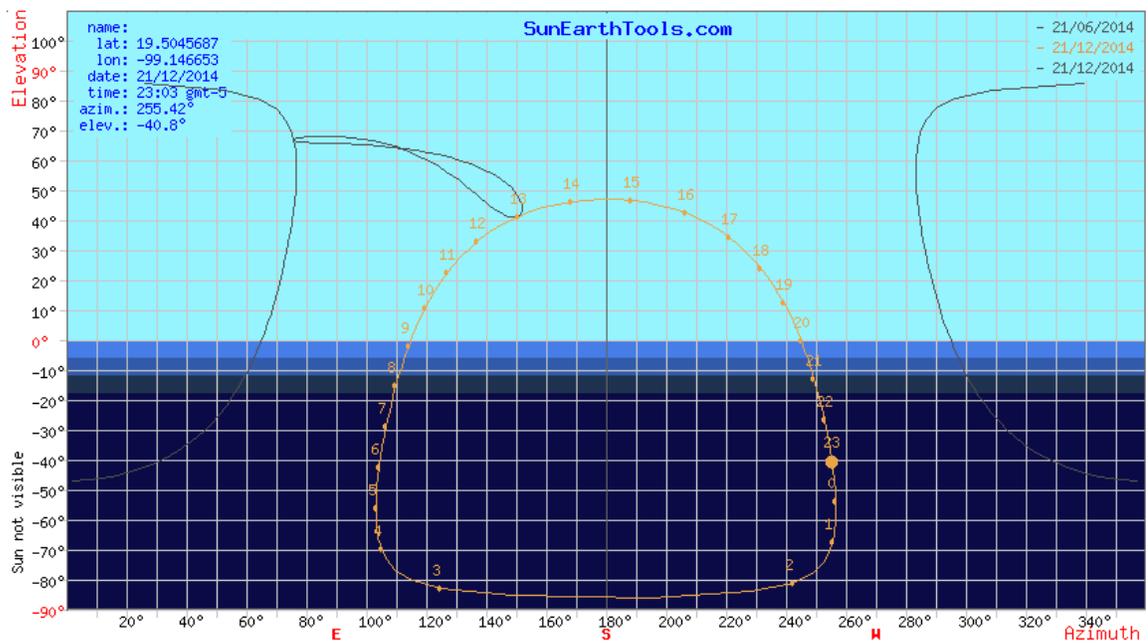


Figura 20. Gráfica de elevación y acimut en invierno. Fuente: SunEarthTools.com.

Fecha:	21/12/2014 GMT-5	
coordinar:	19.5045687, -99.146653	
ubicación:	Neptuno 43, Nueva Industrial Vallejo, 07700 Ciudad de México, D.F., México	
hora	Elevación	Azimut
09:06:06	-0.833°	114.63°
10:00:00	10.47°	119.64°
11:00:00	22.3°	126.97°
12:00:00	32.84°	136.96°
13:00:00	41.24°	150.65°
14:00:00	46.23°	168.43°
15:00:00	46.62°	188.43°
16:00:00	42.3°	206.77°
17:00:00	34.35°	221.13°
18:00:00	24.09°	231.64°
19:00:00	12.42°	239.33°
20:00:00	-0.09°	245.08°
20:03:28	-0.833°	245.36°

Tabla 7. Elevación y acimut al amanecer y anochecer en invierno. Fuente: SunEarthTools.com.

Las figuras y graficas anteriores nos muestran que para cada época del año hay diferentes condiciones por las cuales el Sol se encuentra en diferentes posiciones, y depende el lugar hora y fecha donde se quiera hacer el registro de la posición del Sol, otro punto que se pudo observar fue que en época de verano es cuando hay mayor concentración de Sol y cuando más largo es la duración de luz en el día. De esta forma podemos afirmar y determinar que es necesario que el sistema cuente con sensores que sigan la trayectoria del Sol, de tal forma que este nunca pierda el punto fijo a reflejar la mayor cantidad de luz posible.

CAPÍTULO 5. NORMAS OFICIALES MEXICANAS (NOM) DE ILUMINACIÓN

A fines de encontrar un estándar de iluminación óptima para los centros de trabajo aplicable a los Estados Unidos Mexicanos la cual nos servirá de base para analizar la calidad de iluminación de la ESCOM, la Secretaria del Trabajo y Previsión Social junto con la autorización del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Seguridad y Salud en el Trabajo aplican la norma NOM-025-STPS-2008, condiciones de iluminación en los centros de trabajo, siendo esta la norma más reciente y aplicable.

El objetivo de la norma es establecer los requerimientos de iluminación en las áreas de los centros de trabajo, para que se cuente con la cantidad de iluminación requerida para cada actividad visual, a fin de proveer un ambiente seguro y saludable en la realización de las tareas que desarrollen los trabajadores.

Los niveles mínimos de iluminación que deben incidir en el plano de trabajo, para cada tipo de tarea visual o área de trabajo, son los establecidos en la Tabla 8.

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 de poco movimiento, 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: maquinado 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 e inspección de piezas pequeñas y complejas, acabado con pulidos finos.	Proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulidos finos.	1,000
Alto grado de especialización en la distinción de detalles.	Proceso de gran exactitud. Ejecución de tareas visuales: de bajo contraste y tamaño muy pequeño por periodos prolongados; exactas y muy prolongadas, y muy especiales de extremadamente bajo contraste y pequeño tamaño.	2,000

Tabla 8. Niveles de iluminación. Fuente: Secretaría del Trabajo y Prevención Social.

Determinar el factor de reflexión en el plano de trabajo y paredes que por su cercanía al trabajador afecten las condiciones de iluminación deben de ser similares a la tabla 8.

Concepto	Niveles Máximos Permisibles de Reflexión, Kf
Paredes	60%
Plano de trabajo	50%

Tabla 9. Niveles máximos permisibles del factor de reflexión. Fuente: Secretaría del Trabajo y Prevención Social.

Nota: Se considera que existe deslumbramiento en el área y puesto de trabajo, cuando el valor de la reflexión (Kf) supere los valores establecidos en la Tabla 9.

La NOM provee el documento “apéndice A”, los cuales son las metodologías a seguir para hacer la medición de luz de forma correcta en un área específica. De tal modo que en el apartado 4.1 se menciona.

APÉNDICE A: Evaluación de los niveles de iluminación

A.1. Objetivo

Evaluar los niveles de iluminación en las áreas y puestos de trabajo seleccionados.

A.2. Metodología

De acuerdo con la información obtenida durante el reconocimiento, se establecerá la ubicación de los puntos de medición de las áreas de trabajo seleccionadas, donde se evaluarán los niveles de iluminación.

A.2.1. Cuando se utilice iluminación artificial, antes de realizar las mediciones, se debe de cumplir con lo siguiente:

- a) Encender las lámparas con antelación, permitiendo que el flujo de luz se estabilice; si se utilizan lámparas de descarga, incluyendo lámparas fluorescentes, se debe esperar un periodo de 20 minutos antes de iniciar las lecturas. Cuando las lámparas fluorescentes se encuentren montadas en luminarias cerradas, el periodo de estabilización puede ser mayor;
- b) En instalaciones nuevas con lámparas de descarga o fluorescentes, se debe esperar un periodo de 100 horas de operación antes de realizar la medición, y
- c) Los sistemas de ventilación deben operar normalmente, debido a que la iluminación de las lámparas de descarga y fluorescentes presentan fluctuaciones por los cambios de temperatura.

A.2.2. Cuando se utilice exclusivamente iluminación natural, se debe realizar al menos las mediciones en cada área o puesto de trabajo de acuerdo con lo siguiente:

- a) Cuando no influye la luz natural en la instalación ni el régimen de trabajo de la instalación, se deberá efectuar una medición en horario indistinto en cada puesto o zona determinada, independientemente de los horarios de trabajo en el sitio;
- b) Cuando sí influye la luz natural en la instalación, el turno en horario diurno (sin periodo de oscuridad en el turno o turnos) y turnos en horario diurno y nocturnos (con periodo de oscuridad en el turno o turnos), deberán efectuarse 3 mediciones en cada punto o zona determinada distribuidas en un turno de trabajo que pueda presentar las condiciones críticas de iluminación de acuerdo a lo siguiente:
 - Una lectura tomada aproximadamente en la primera hora del turno;
 - Una lectura tomada aproximadamente a la mitad del turno, y
 - Una lectura tomada aproximadamente en la última hora del turno.
- c) Cuando sí influye la luz natural en la instalación y se presentan condiciones críticas, efectuar una medición en cada punto o zona determinada en el horario que presente tales condiciones críticas de iluminación.

A.2.3. Ubicación de los puntos de medición.

Los puntos de medición deben seleccionarse en función de las necesidades y características de cada centro de trabajo, de tal manera que describan el entorno ambiental de la iluminación de una forma confiable, considerando: el proceso de producción, la clasificación de las áreas y puestos de trabajo, el nivel de iluminación requerido en base a la Tabla 1, la ubicación de las luminarias respecto a los planos de trabajo, el cálculo del índice de áreas correspondiente a cada una de las áreas, la posición de la maquinaria y equipo, así como los riesgos informados a los trabajadores.

A.2.3.1. las áreas de trabajo se deben dividir en zonas del mismo tamaño, de acuerdo a lo establecido en la columna A (número mínimo de zonas a evaluar) de la tabla 3, y realizar la medición en el lugar donde haya mayor concentración de trabajadores o en el centro geométrico de cada una de estas zonas; en caso de que los puntos de medición coincidan con los puntos focales de las luminarias, se debe considerar el número de zonas de evaluación de acuerdo a lo establecido en la columna B (número mínimo de zonas a considerar, por la limitación) de la tabla 3. En caso de coincidir nuevamente el centro geométrico de cada zona de evaluación con la ubicación del punto focal de la luminaria, se debe mantener el número de zonas previamente definido.

Índice de área	A) Número mínimo de zonas a evaluar	B) Número de zonas a considerar por la limitación
$IC < 1$	4	6
$1 \leq IC < 2$	9	12
$2 \leq IC < 3$	16	20
$3 \leq IC$	25	30

Tabla 10. Relación entre el índice de área y el número de zonas de medición. Fuente: Secretaría del Trabajo y Prevención Social.

El valor del índice de área, para establecer el número de zonas a evaluar, está dado por la ecuación siguiente:

$$IC = \frac{(x)(y)}{h(x + y)}$$

Donde:

IC = índice del área.

x, y = dimensiones del área (largo y ancho), en metros.

h = altura de la luminaria respecto al plano de trabajo, en metros.

En donde x es el valor del índice de área (IA) del lugar, redondeando al entero superior, excepto que para valores iguales o mayores a 3 el valor de x es 4. A partir de la ecuación se obtiene el número mínimo de puntos de medición.

En pasillos o escaleras, el plano de trabajo por evaluar debe ser un plano a 75 cm +/- 10 cm, sobre el nivel del piso, realizando mediciones en los puntos medios entre luminarias contiguas.

A.2.4. en el puesto de trabajo se debe realizar al menos una medición en cada plano de trabajo, colocando el luxómetro tan cerca como sea posible del plano de trabajo y tomando precauciones para no proyectar sombras ni reflejar luz adicional sobre el luxómetro.

A.3. Instrumentación

A.3.1. Se debe usar un luxómetro que cuente con:

- Detector para medir iluminación;
- Corrección cosenoidal;
- Corrección de color, detector con una desviación máxima de $\pm 5\%$ respecto a la respuesta espectral fotópica, y
- Exactitud de $\pm 5\%$ (considerando la incertidumbre por calibración).

A.3.2. Se debe verificar el luxómetro antes y después de iniciar una evaluación conforme lo establezca el fabricante y evitar bloquear la iluminación durante la realización de la evaluación.

A.3.3. El luxómetro deberá contar con el certificado de calibración de acuerdo a lo establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización. Las lecturas serán válidas mientras los resultados obtenidos en el luxómetro no cambien de acuerdo con los requisitos establecidos en los párrafos siguientes:

A.3.3.1. Debe asegurarse que se cumpla con el inciso d) de la sección A.3.1., ya que la calibración no implica el ajuste del instrumento y por tanto, por sí sola, no garantiza que se realicen las mediciones con la exactitud requerida. Debido a lo anterior se deberá verificar y registrar en el informe el error que comete el instrumento y aplicar el factor de corrección si es necesario, además de corregir los resultados de la medición.

A.3.3.2 Cuando el luxómetro tenga variaciones en la coincidencia de sus lecturas se debe someter para su certificación al laboratorio. La forma de respaldar la veracidad del luxómetro será a través del registro de mediciones realizadas midiendo los niveles de iluminación que produce una lámpara incandescente, que únicamente será utilizada para este fin, a distancias conocidas. Las lecturas obtenidas durante la verificación deberán coincidir con las lecturas de referencia que deberán haber sido obtenidas al momento de que se recibió el luxómetro después de su certificación, una vez que se haya aplicado el factor de corrección reportado en el certificado.

A.3.3.3. El reporte de verificación debe contener la fecha de su realización, la intensidad de corriente a la que se operó la lámpara incandescente, las condiciones ambientales al momento de la verificación, las distancias a las cuales se midieron los niveles de iluminación y los valores de iluminancia indicados por el instrumento para cada distancia.

A.3.3.4. En caso de que el luxómetro haya sufrido una caída, se le dio uso rudo o estuvo expuesto a condiciones extremas de temperatura y humedad, se debe someter a una nueva verificación y elaborar el reporte de verificación.

(Fuente: Diario Oficial de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social. Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, condiciones de iluminación en los centros de trabajo. Página: 8.)

CAPÍTULO 6. LECTURA Y REGISTRO DE ILUMINACIÓN

Según la norma mexicana de iluminación NOM-025-STPS-2008 en el apéndice A.2.3.1 la forma de determinar las áreas a medir en un área de trabajo es con la ecuación de índice de área. En este segmento se tomó una medida estándar para todos los salones, suponiendo que todos los salones deben de tener el mismo espacio. Las mediciones son:

- 6.87m ancho.
- 7.93m largo.
- 2.70m altura.

Con la ecuación de índice de área:

$$IC = \frac{(x)(y)}{h(x + y)}$$

Sustituyendo valores y tomando en cuenta que el valor de x se cambia por 4 según la NOM:

$$IC = \frac{(4)(6.87)}{2.7(4+6.87)} = 0.9363181$$

IC ≤ 1, por lo tanto el número de zonas a evaluar es 4.

Se hicieron mediciones de luz, por medio de un luxómetro, dentro de los salones, laboratorios y cubículos de la ESCOM. La muestra que se tomo es de un total de 30 aulas los cuales se eligieron de forma aleatoria. Los resultados se muestran en la tabla 11.

No. Mediciones	salón	Cantidad de luxes(lampara)				Cantidad de luxes (LED)				Promedio	Hora de medición	¿Cumple estándar?
		Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4			
1	Lab. De física	207	260	254	213	*	*	*	*	233.5	4:31 pm - 4:46 pm	X
2	2111	185	235	251	219	*	*	*	*	222.5	4:31 pm - 4:46 pm	X
3	Lab. De sistemas II	154	196	203	166	*	*	*	*	179.75	4:31 pm - 4:46 pm	X
4	2204	150	302	248	175	*	*	*	*	218.75	4:31 pm - 4:46 pm	X
5	2211	255	364	271	342	*	*	*	*	308	4:31 pm - 4:46 pm	✓
6	2007	45	207	197	140	*	*	*	*	147.25	7:30 pm - 7:43 pm	X
7	2006	42	184	153	148	*	*	*	*	131.75	7:30 pm - 7:43 pm	X
8	2005	30	199	142	183	*	*	*	*	138.5	7:30 pm - 7:43 pm	X
9	Ctrl escolar	125	114	130	158	*	*	*	*	131.75	7:30 pm - 7:43 pm	X
10	Lab. Cómputo posgrado (2009)	161	286	237	195	*	*	*	*	219.75	7:30 pm - 7:43 pm	X
11	1010	215	311	302	267	*	*	*	*	273.75	7:30 pm - 7:43 pm	X
12	1011	60	203	172	147	*	*	*	*	145.5	7:30 pm - 7:43 pm	X
13	1012	81	157	117	142	*	*	*	*	124.25	7:30 pm - 7:43 pm	X
14	1111	90	265	166	228	*	*	*	*	187.25	7:30 pm - 7:43 pm	X
15	Lab. Redes	59	235	214	93	*	*	*	*	150.25	7:30 pm - 7:43 pm	X
16	1202	61	216	178	129	*	*	*	*	146	7:30 pm - 7:43 pm	X
17	1203	138	153	47	184	*	*	*	*	130.5	7:30 pm - 7:43 pm	X
18	Lab. 24	195	126	76	210	*	*	*	*	151.75	7:30 pm - 7:43 pm	X
19	1204	74	153	57	187	*	*	*	*	117.75	7:30 pm - 7:43 pm	X
20	1205	184	112	43	215	*	*	*	*	138.5	7:30 pm - 7:43 pm	X
21	1206	108	142	57	184	*	*	*	*	122.75	7:30 pm - 7:43 pm	X
22	1207	86	174	33	185	*	*	*	*	119.5	7:30 pm - 7:43 pm	X
23	Dep. ext y apoyo educativo	*	*	*	*	324	453	378	426	395.25	7:30 pm - 7:43 pm	✓
24	1209	83	216	129	233	*	*	*	*	165.25	7:30 pm - 7:43 pm	X
25	2205	*	*	*	*	105	232	183	221	185.25	7:30 pm - 7:43 pm	X
26	Unid. Politéc. De integro. Social	55	69	109	138	*	*	*	*	92.75	7:30 pm - 7:43 pm	X
27	Lab de Sistemas 1	64	139	73	180	*	*	*	*	114	7:30 pm - 7:43 pm	X
28	CATT	70	274	229	302	*	*	*	*	218.75	7:30 pm - 7:43 pm	X
29	Subdirección académica	82	183	201	277	*	*	*	*	185.75	7:30 pm - 7:43 pm	X
30	IA4D13 (INGLÉS)	234	260	293	315	*	*	*	*	275.5	7:30 pm - 7:43 pm	X

Tabla 11. Medición de luxes en los salones de la ESCOM.

Como la tabla lo indica, de las 30 aulas en donde se tomaron las mediciones, solamente 2 cumplen con la norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, "Condiciones de iluminación en los centros de trabajo", lo cual representa solamente el 6.6% de la muestra total, en la cual está descrito numéricamente que la cantidad de luxes recomendados para aulas es de 300 y para laboratorios de 500.

CAPÍTULO 7. LA LUZ

Para el proyecto es necesario comprender como es que está constituida la luz, como es que se mueve en el entorno, los efectos que esta genera. Iremos de lo general a lo particular. De esta forma se comprenderá la importancia de ella.

7.1. Los fotones y el espectro electromagnético

Bien sabemos que la luz se compone de fotones que un objeto emisor (en este caso el sol) genera y un receptor absorbe dichas partículas. Ahora bien, el fotón (que en griego significa “Luz”) es la partícula que contiene formas de radiación electromagnéticas, como lo son los rayos gamma, la luz ultra violeta, los rayos x, la luz visible, la luz infrarroja, las microondas y las ondas de radio. Esta radiación corresponde al fenómeno de electromagnetismo.

Los fotones tienen una característica peculiar, ya que presenta una dualidad onda-partícula. En la física clásica nos dice que existen partículas y ondas, mientras que una partícula ocupa un lugar en el espacio, las ondas tienen una velocidad definida pero no tienen masa. Según la mecánica cuántica, las partículas se componen de un campo materia, las cuales les permiten viajar como si de una onda se tratase.

Gracias a su comportamiento como una partícula, el fotón transfiere energía cuando está en contacto con la materia. La siguiente ecuación define la energía de un fotón.

$$E = \frac{hc}{\lambda} = h\nu$$

Ecuación 1. Energía de un fotón.

Donde:

h = constante de plank

C = Velocidad de la luz

λ = Longitud de onda

v = Frecuencia de la onda

Para el espectro electromagnético de luz visible, la energía portada por un fotón es alrededor de 4×10^{-19} Jules. Es la energía suficiente para poder excitar al ojo y obtener visión.

Si bien ya hablamos de las partículas de los fotones como un solo elemento, ahora hablaremos del conjunto de ellas, también llamado el espectro electromagnético, y es la distribución de energía de un grupo de ondas electromagnéticas. Como objeto, es la radiación electromagnética que puede emitir o absorber. Un espectro se le puede calcular la longitud de onda, la frecuencia y la intensidad de la radiación.

Como el espectro es el conjunto de fotones, este comprende una banda de espectro electromagnético, como se explicó en un principio. Va desde longitudes menores: rayos X, luz visible hasta rangos mayores: ondas de radio. Nos enfocaremos al espectro visible.

El espectro de la luz tiene una longitud de onda que va del intervalo de 0.4 a 0.8 micrómetros. En este rango las estrellas emiten la mayor parte de la radiación, convenientemente el ojo humano es sensible a estas longitudes. Y como se muestra en la siguiente figura, es una pequeñísima parte del espectro electromagnético.

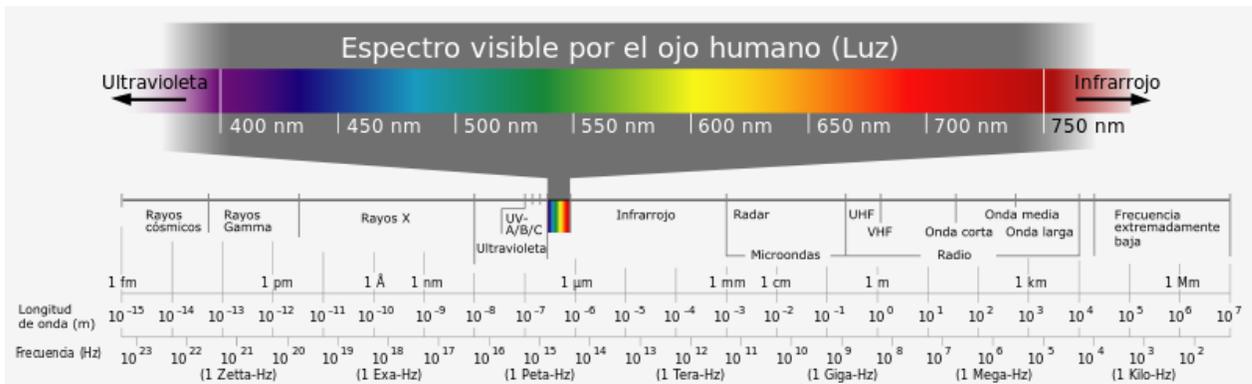


Figura 21. Espectro electromagnético. Autor: Horst Frank, Wikipedia [27].

En la siguiente tabla se muestra la longitud de onda en que el ser humano puede captar la llamada luz visible.

Color	Longitud de onda
violeta	380–450 nm
azul	450–495 nm
verde	495–570 nm
amarillo	570–590 nm
naranja	590–620 nm
rojo	620–750 nm

Tabla 12. Longitud de onda de los colores. Fuente: Color, Wikipedia.

La luz visible tiene una velocidad constante que es finita. En la actualidad, la velocidad de la luz en el vacío es de 299, 792, 458 Km/s. Como ya se había mencionado anteriormente, la luz presenta una dualidad onda-partícula.

7.2. Dualidad onda-partícula.

La teoría ondulatoria, propuesta por Christian Huygens, propone que la luz se trate como una onda con campo eléctrico que va variando en el tiempo a través del espacio, la cual genera un campo magnético y eléctrico. Las ondas electromagnéticas que se forman, tienen una forma senoidal y los 2 campos que genera son perpendiculares a la dirección de transmisión, ver figura 22.

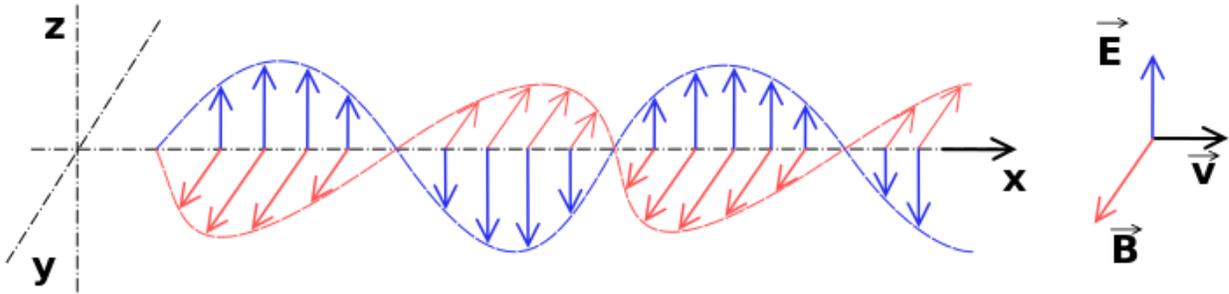


Figura 22. Eje x: transmisión de luz; Onda color azul: campo eléctrico; Onda color rojo: campo magnético. Autor: Emmanuel Boutet, Wikipedia.

La onda electromagnética tiene las siguientes propiedades:

- Frecuencia: Magnitud que mide el número de repeticiones de oscilaciones en cierto tiempo.
- Amplitud: longitud ondulatoria máxima perpendicular al periodo.
- Periodo: Es el transcurso de tiempo entre dos puntos correspondientes de la onda.
- Longitud de onda: Es la distancia que recorre una onda en un tiempo determinado.
- Velocidad de propagación: es la velocidad real de propagación en cierto material.

La luz posee fenómenos con propiedades típicas de una onda, tales como:

- Interferencia, cuando dos o más ondas se superponen la amplitud resultante puede ser de mayor o menor tamaño.
- Polarización, ocurre cuando la luz pasa por un material polarizado y solamente las ondas con un determinado ángulo la pueden atravesar.
- Reflexión y refracción.

Por otra parte, la teoría corpuscular, estudia a la luz como fotón (partícula sin masa y sin carga). De esta forma se pretende explicar cómo es que la luz, cuando toca un material, puede intercambiar energía mínima discreta.

Los fenómenos que explica la teoría corpuscular son:

- La radiación del cuerpo negro.
- El efecto fotoeléctrico.
- Presión luminosa.

Paul Dirac, por medio de la ecuación de ondas, unió las propiedades de las ondas y de las partículas. Lo que pretendía era que las ecuaciones de Maxwell pudieran ser aplicadas en este contexto. En ellas se tiene la teoría de la electrodinámica cuántica y la mecánica cuántica. En esta ecuación, la solución para las ondas electromagnéticas, requiere partículas también llamadas ondas cuantizadas.

$$\left(\alpha_0 m c^2 + \sum_{j=1}^3 \alpha_j p_j c \right) \psi(\mathbf{x}, t) = i \hbar \frac{\partial \psi}{\partial t}(\mathbf{x}, t)$$

Ecuación 2. Ecuación de ondas de Dirac.

Donde:

m = masa en reposo del electrón

c = velocidad de la luz

p = operador del momento

\hbar = constante reducida de Plank

x, t = coordenadas de espacio y tiempo

$\psi(x, t)$ = función de onda

α = operadores de onda de la función de onda

En ella se describe el espín, que es un vector que cambia de signo cada 2π , de un electrón, en la cual una partícula tiene un momento angular intrínseco y su propiedad es como la de la masa o la carga eléctrica.

7.3. Reflexión y refracción

La reflexión es el cambio de dirección de un rayo luminoso que incide sobre un cuerpo, lo cual permite que los objetos puedan ser observados debido a que esta luz llega a los ojos de quien lo mira.

Dentro de la reflexión existen 3 parámetros que se toman en cuenta para los efectos de óptica en general sobre un material.

- El ángulo de incidencia
- El ángulo de reflexión
- La recta normal

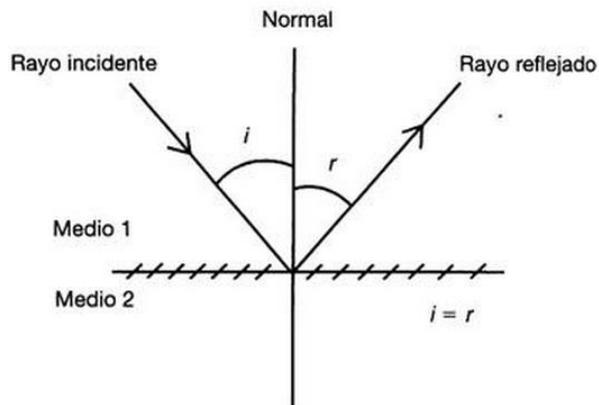


Figura 23. Rayos en una superficie. Fuente: La física de la óptica [34].

El ángulo de incidencia es el ángulo que forma el rayo de luz incidente con la recta normal. El ángulo de reflexión es el ángulo que forma el rayo de la luz reflejada con respecto a la normal. La recta normal simplemente es una línea imaginaria perpendicular al espejo. Los 3 existen sobre un medio o superficie.

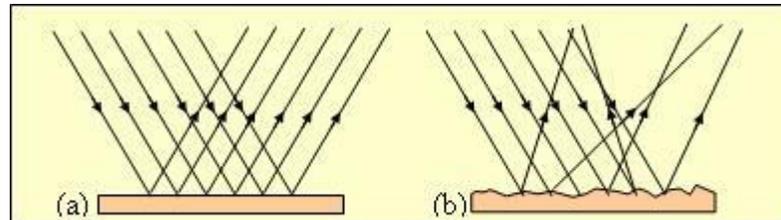


Figura 24. Reflexión sobre superficie rugosa y plana. Fuente: Física 2ºB [35].

La reflexión de la luz también puede ser difusa o especular, la difusa se presenta en objetos rugosos en los que los rayos de luz se reflejan hacia todas partes por lo que es difícil reflejar una imagen, la reflexión especular se presenta en objetos planos y lisos en los que los rayos reflejados son paralelos y salen hacia una misma dirección como en la figura 24.

Existe además otro efecto óptico llamado refracción el cual es el cambio de dirección que sufre un rayo al pasar de un medio a otro y esto es debido al cambio que se presenta en la velocidad de la luz al atravesar los diferentes medios.

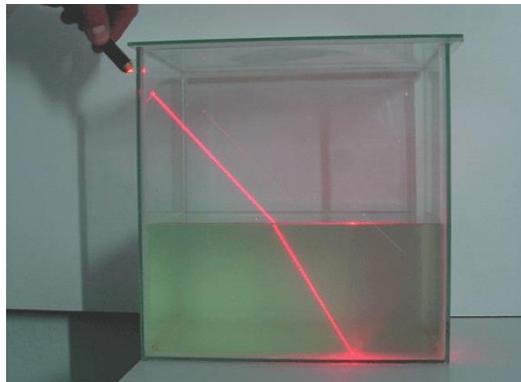


Figura 25. Refracción de un rayo de luz láser en aire y agua. Fuente: Experimento de láser y espejo, fisicanuevea.bligoo.com.

El ángulo que se presenta entre la recta normal y el rayo refractado se llamado ángulo de refracción.

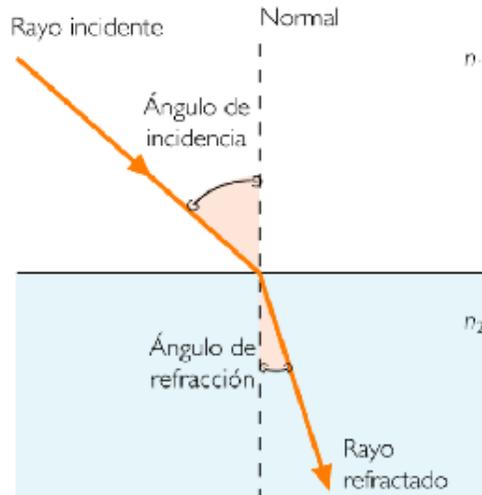


Figura 26. Rayo refractado y ángulo de refracción. Fuente: Teoría de la naturaleza de la luz.

Por otra parte se estableció una medida para determinar la reducción de la velocidad de la luz al propagarse por un medio, a esta medida se le llamo índice de refracción, que es el cociente de la velocidad de la luz en el vacío entre la velocidad de la luz en el material.

Lo anterior indica que entre mayor sea ese índice de refracción, menor será la velocidad con la que atraviese un material con lo que la reflexión en dicho material será mayor.

7.4. Leyes de la Reflexión

- 1.- El ángulo de incidencia es igual al ángulo reflejado.
- 2.- El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal están en un mismo plano.

7.5. Leyes de la refracción

- 1.- El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal están en un mismo plano.
- 2.- El producto del índice de refracción por el seno del ángulo de incidencia es constante para cualquier rayo de luz incidiendo sobre la superficie separatriz de dos medios.

La segunda ley de Snell se usó para calcular el índice de refracción de los materiales

$$n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2$$

Ecuación 3. Fórmula de Snell.

7.6. Material de reflexión

Con lo anterior, se necesita de un material que nos permita reflejar la luz hacia un punto de incidencia el cual, en este caso, sería la ventana de un aula. Dicho material tiene que ser resistente a los cambios climáticos y además deberá soportar los rayos solares sin sufrir ningún desperfecto. Un factor importante para la determinación del material es el precio, el proyecto está diseñado para ser económico y sostenible.

Tiene que ser plano, solamente deberá reflejar la luz hacia un punto, no se necesita deformar el espejo ni la dirección de los rayos.

Al buscar el material que se necesita para el proyecto, se encontró que tres materiales pueden cumplir con las especificaciones antes descritas:

- Acrílico tipo espejo plateado.
- Lamina de aluminio tipo espejo.
- Espejo de nitrato de plata y vidrio.

Después se realizó un análisis acerca de los anteriores materiales y se obtuvo la tabla 13 con los siguientes resultados.

Característica	Acrílico	Lamina	Espejo
Refracción de luz	1.498	1.39	1.744
Reflexión de luz	Refleja bien la luz pero a nivel microscópico presenta porosidad.	Su superficie es rugosa por lo que no refleja muy bien la luz.	La refleja muy bien debido a su superficie alisada y plana.
Resistencia	Es flexible pero se raya fácilmente y su estructura se puede debilitar a la luz solar directa.	También es flexible aunque soporta mejor la luz directa del Sol, es difícil de rayar.	No es flexible y se rompe fácilmente es muy difícil de rayar con materiales comunes y soporta altas temperaturas.
Peso	Es muy ligero debido a la naturaleza del material.	Es pesado relativamente dependiendo de su grosor.	Su densidad es aproximadamente del doble que el acrílico por lo que pesa mucho más.
Costo	Es relativamente caro comparado con otros polímeros.	Es caro por sus características físicas.	Es muy barato.

Tabla 13. Tabla de resultados de los materiales reflejantes.

De las tres opciones de materiales reflejantes se decidió que el espejo de nitrato de plata es el mejor reflejante ya que es el que tiene mayor índice de refracción, además de que el precio es bastante barato en comparación con los otros materiales.

Con lo anterior también se aprovecharon otras características del material que pueden ser útiles como el poder soportar los rayos del Sol sin deformarse y resistir sin problemas los cambios climáticos, aunque hay otras que pudieran ser un riesgo como el material de recubrimiento del espejo (vidrio) el cual no es muy resistente y fácilmente quebradizo.

7.7. Medición de luxes reflejados

En este apartado se ubicó el espejo de nitrato de plata en la parte trasera de la ESCOM para hacer la medición de luxes en las aulas con el reflejo de luz. La medida del espejo es de 30cm x 20cm, se colocó de tal forma que la luz reflejada incidiera en las ventanas de los salones. El luxómetro se situó sobre una mesa del área de trabajo, lo más cercano al haz de luz reflejado en la ventana y el espejo se puso a ras del suelo. En la tabla 14 se muestran dichas mediciones.

Aula	Medición máxima	Medición mínima	Hora de medición
2112	78 Luxes	63 Luxes	Aprox. 5:12 pm
2214	85.8 Luxes	67 Luxes	Aprox. 5:17 pm

Tabla 14. Tabla de resultados de luxes reflejados por el espejo en las aulas de ESCOM.

Además, en el aula de ingeniería de sistemas automotrices se hizo la medida de luxes con la ventana recubierta de una película mate blanca que distribuye la luz. También se realizó sin la película. Se respetaron las mismas posiciones que en las mediciones iniciales. En la tabla 15 se muestran los resultados.

	Con película mate	Sin película mate
Aula	2012 luxes	2012 luxes
Medición máxima	123.3 luxes	115.2 luxes
Medición mínima	94.5 luxes	86.4 luxes
Hora de medición	Alrededor de 5:23 pm	Alrededor de 5:27 pm

Tabla 15. Resultados con película y sin película.

Según las mediciones se puede observar que la película mate blanca distribuye más la luz y de alguna manera el color blanco influye en que haya mejor iluminación en la zona medida. Nos damos cuenta que es necesario que haya más distribución de espejos para alcanzar los índices mínimos que solicita la NOM-025-STPS-2008.

Si en el aula 2112 la medición promedio es de 70.5, se necesitarán mínimo 5 espejos de esa medida para lograr alcanzar el estándar en un área de trabajo. Igualmente, en el aula 2214 tiene 76.4 luxes promedios y requiere 4 espejos. Por último en el salón 2012 con la película mate blanca se logra alcanzar una media de 108.9 luxes, con tan solo 3 espejos se cumple la NOM.

CAPÍTULO 8. METODOLOGÍA Y DISEÑO GENERAL DEL SISTEMA

La metodología de Prototipo Evolutivo (adaptándolo a nuestro proyecto). Se basa en la creación de una implementación parcial de un sistema, para el propósito explícito de aprender sobre los requerimientos del sistema. Un prototipo es construido de una manera rápida tal como sea posible. Esto es dado a los usuarios, clientes o representantes de ellos, posibilitando que ellos experimenten con el prototipo. Estos individuos luego proveen de retroalimentación sobre lo que a ellos les pareció bien y de lo que les pareció mal acerca del prototipo proporcionado.

Debido a que se trata de un proyecto que no está enfocado a software directamente y se trata de electrónica en su mayor parte, los prototipos a utilizar podrían ser varios, con lo que no definimos el número exacto a desarrollar.

En la figura 27 se muestra como se adapta la metodología de prototipos evolutivos a nuestro proyecto:

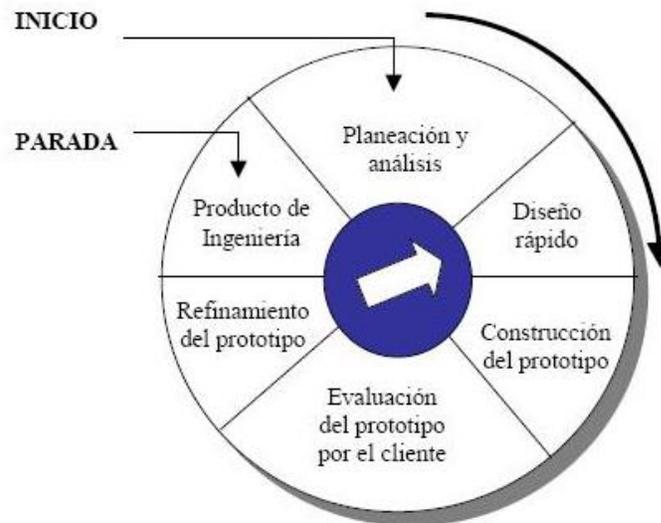


Figura 27. Modelo de prototipo. Fuente: Requisitos De Software [36].

Planeación y análisis:

1. Indagará la física de la luz, la reflexión de la misma. Obtener información de cantidad de luxes que son necesarios para una buena iluminación dependiendo del área. Investigar los ciclos del Sol en diferentes épocas del año.
2. Obtener lecturas de iluminación en los salones de la Escuela Superior de Cómputo alrededor de día y de noche. Examinar que material es mejor reflejante y cuál es el mejor filtro de luz.
3. Obtener nuevamente mediciones de iluminación ya con el reflejante sobrepuesto.

Diseño del mecanismo y articulaciones del prototipo considerando las variables antes analizadas.

Construcción del prototipo:

1. Construir el mecanismo y articulaciones.
2. Programar la tarjeta LaunchPad de Texas Instruments.
3. Montado de tarjeta al mecanismo.

Evaluación del prototipo:

1. Probar funcionamiento por medio de receptores de luz.
2. Prever los factores externos como el clima y el lugar donde se pretende posicionar al sistema seguidor de luz

Refinamiento del prototipo seguidor de luz.

Sistema finalizado, realizando el funcionamiento del mismo.

El funcionamiento supone que, por medio de las características, el sistema captara los rayos solares por medio de sensores y estos seguirán la trayectoria del Sol como si fuera la flor girasol.

Se tendrán servomotores para que se mueva el sistema. Un espejo reflejará la luz del Sol hacia una oficina, salón o habitación. Como el reflejo del Sol se moverá conforme pase el tiempo, el sistema se estabilizará de tal modo que la luz siempre este apuntado a un solo punto (en este caso a la película blanca) sin importar el movimiento solar.

La luz será distribuida en la habitación por medio de una película blanca. Se pretende que el prototipo sea probado en la Escuela Superior de Cómputo. El sistema será completamente autónomo. En la figura 28 se muestra el diagrama a bloques del sistema.

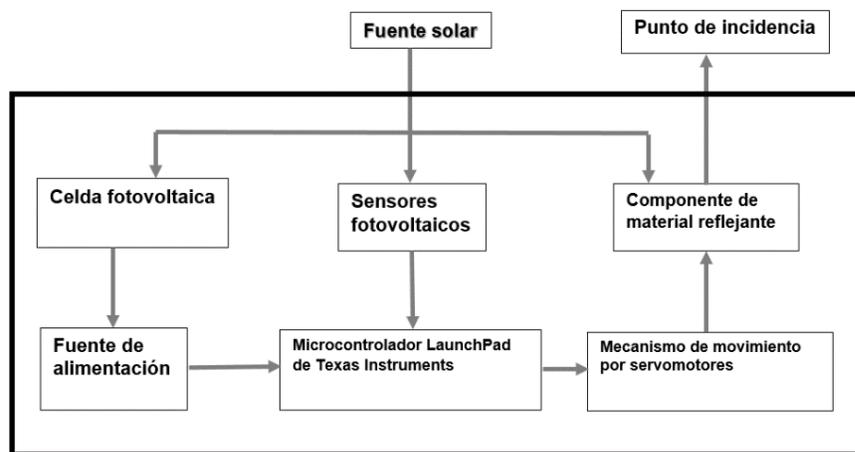


Figura 28. Diagrama a bloques del sistema seguidor solar.

CAPÍTULO 9. DISEÑO ESPECÍFICO DEL SISTEMA

9.1. Diseño de la arquitectura

Se utilizará la tarjeta LaunchpadMSP-EXP430G2 creada por Texas Instruments para la etapa de pruebas y programación.

Se usará debido a que:

- ✓ Tiene un costo muy accesible (9.99 dólares aproximadamente 150 pesos mexicanos).
- ✓ La tarjeta es de muy bajo consumo (que es uno de los objetivos del trabajo).
- ✓ Es muy conveniente para el trabajo debido a que se utiliza para aplicaciones que usan alguna batería como fuente de alimentación.
- ✓ Se programa vía USB a través de diferentes IDE's como el Code Composer Studio o el Energía.
- ✓ Utiliza programación en lenguaje C.

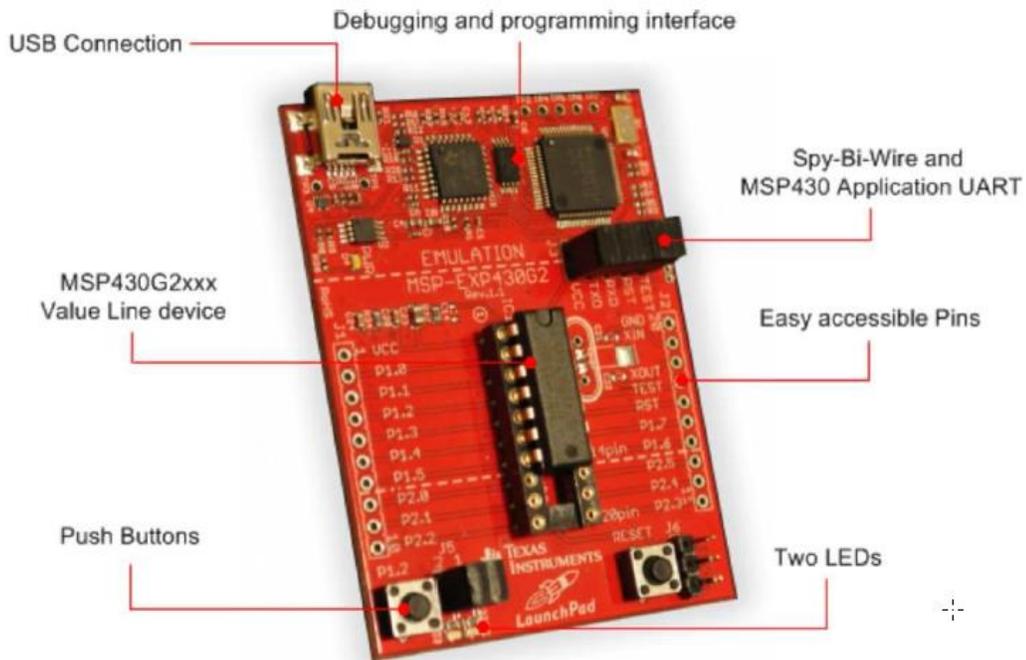


Figura 29. Tarjeta Launchpad MSP-EXP430G2 Rev 1.5. Fuente: <http://43oh.com>.

9.1.1. El Microcontrolador

El proyecto final contempla utilizar el M430G2553 también de Texas Instruments es un microcontrolador de bajo consumo, costo y con características convenientes para el desarrollo del proyecto.



Figura 30. Microcontrolador M430G2553. Fuente: global Wholesale, <http://es.aliexpress.com>.

Características:

- ✓ Cuenta con un temporizador interno de 16 bits.
- ✓ Cuenta con una CPU de tipo RISC de 16 bits.
- ✓ Oscilador controlado digitalmente que pasa del modo de “bajo consumo” a el “modo activo” en menos de 1 ms.
- ✓ Comunicación serial.
- ✓ Tiene 16 pines de E/S.
- ✓ Bajo consumo de energía:
 - Para retención de RAM: 0.1uA.
 - Funcionamiento en tiempo real: 0.8 uA.
 - Funcionamiento activo: 230 uA a 1MHz.
- ✓ Es una microcontrolador de ultra-baja potencia
 - Tensión de funcionamiento: 1.8 a 3.6 V.
 - Puesta en marcha: <1us.
 - Fuga de puerto: <50 nA.
- ✓ Convertidor analógico-digital (ADC10) de 10 bits.
- ✓ 7 modos de direccionamiento.
- ✓ 6 modos de operación en bajo consumo
- ✓ 3 formatos de instrucción
- ✓ Tiene 512 Bytes de RAM.
- ✓ 16 KB de memoria flash.
- ✓ Arriba de 16 Mhz de velocidad en CPU.
- ✓ 27 instrucciones básicas (51 en total).
- ✓ Temperatura de operación -40 a 85° C.

El microcontrolador MSP430G2553 cuenta con 20 pines.

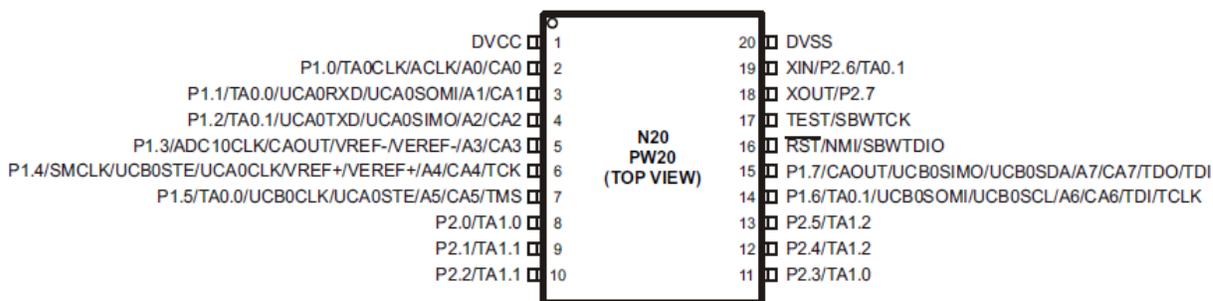


Figura 31. Pines del microcontrolador MSP430G2553. Fuente: MSP430x2xx Family, User's Guide.

De entre los cuales

- 9 pueden leer y escribir de forma digital.
- 8 pueden leer entradas analógicas.
- 7 pueden leer/escribir de forma digital y escribir de forma analógica.
- 2 pueden transmitir y recibir datos de forma serial en modo esclavo y maestro

+3.3V				1	20														GROUND
		A0	P1_0	2	19	P2_6													XIN
	RXD	A1	P1_1	3	18	P2_7													XOUT
	TXD	A2	P1_2	4	17														TEST
		A3	P1_3	5	16														RESET
		A4	P1_4	6	15	P1_7	A7	SDA	MOSI (B0)										
	SCK (B0)	A5	P1_5	7	14	P1_6	A6	SCL	MISO (B0)										
	CS (B0)		P2_0	8	13	P2_5													
			P2_1	9	12	P2_4													
			P2_2	10	11	P2_3													

Hardware

Pin number

PC

Serial UART

SPI

analogRead()

digitalRead() and digitalWrite()

digitalRead(), digitalWrite() and analogWrite()

Figura 32. Configuración de pines MSP430G2553. Fuente: MSP430x2xx Family, User's Guide.

Terminal	Entrada/Salida	Descripción
1	-	Digital supply voltage
2	✓	<p>P1.0 - General-purpose digital I/O pin.</p> <p>TA0CLK (Timer0_A) - clock signal TACLK input.</p> <p>ACLK - ACLK signal output.</p> <p>A0 (ADC10) - analog input A0.</p> <p>CA0 (Comparator_A+) - CA0 input</p>
3	✓	<p>P1.1 - General-purpose digital I/O pin.</p> <p>TA0.0 (Timer0_A) - capture: CCI0A input, compare: Out0 output / BSL transmit.</p> <p>UCA0RXD (USCI_A0) UART mode - receive data input.</p> <p>UCA0SOMI (USCI_A0) SPI mode - slave data out/master in.</p> <p>A1 (ADC10) - analog input A1.</p> <p>CA1 (Comparator_A+) - CA1 input.</p>
4	✓	<p>P1.2 - General-purpose digital I/O pin.</p> <p>TA0.1(Timer0_A) - capture: CCI1A input, compare: Out1 output.</p> <p>UCA0TXD (USCI_A0) UART mode - transmit data output.</p> <p>UCA0SIMO(USCI_A0) SPI mode- slave data in/master out.</p> <p>A2 (ADC10) - analog input A2.</p> <p>CA2 (Comparator_A+) - CA2 input.</p>

5	✓	✓	<p>P1.3 - General-purpose digital I/O pin.</p> <p>ADC10CLK(ADC10) - conversion clock output.</p> <p>A3 (ADC10)- analog input A3.</p> <p>VREF- / VREF-(ADC10) -negative reference voltaje.</p> <p>CA3(Comparator_A+) - CA3 input.</p> <p>CAOUT (Comparator_A+)- output.</p>
6	✓	✓	<p>P1.4 - General-purpose digital I/O pin.</p> <p>SMCLK(SMCLK) - signal output.</p> <p>UCB0STE (USCI_B0) - slave transmit enable.</p> <p>UCA0CLK(USCI_A0) - clock input/output.</p> <p>A4 (ADC10)- analog input A4.</p> <p>VREF+/VREF+/(ADC10) - positive reference voltaje.</p> <p>CA4 (Comparator_A+) - CA4 input.</p> <p>TCK (JTAG test clock) - input terminal for device programming and test.</p>
7	✓	✓	<p>P1.5 - General-purpose digital I/O pin.</p> <p>TA0.0 (Timer0_A) - compare: Out0 output / BSL receive.</p> <p>UCB0CLK(USCI_B0) - clock input/output.</p> <p>UCA0STE(USCI_A0) - slave transmit enable.</p> <p>A5(ADC10) - analog input A5.</p> <p>CA5 (Comparator_A+) - CA5 input.</p> <p>TMS (JTAG test mode select) - input terminal for device programming and test.</p>
8	✓	✓	<p>P2.0 - General-purpose digital I/O pin.</p> <p>TA1.0 (Timer1_A) - capture: CCI0A input, compare: Out0 output.</p>
9	✓	✓	<p>P2.1 - General-purpose digital I/O pin.</p> <p>TA1.1 (Timer1_A) - capture: CCI1A input, compare: Out1 output.</p>
10	✓	✓	<p>P2.2 - General-purpose digital I/O pin.</p> <p>TA1.1 (Timer1_A) - capture: CCI1B input, compare: Out1 output.</p>
11	✓	✓	<p>P2.3 - General-purpose digital I/O pin.</p> <p>TA1.0 (Timer1_A) - capture: CCI0B input, compare: Out0 output.</p>
12	✓	✓	<p>P2.4 - General-purpose digital I/O pin.</p>

			TA1.2 (Timer1_A) - capture: CCI2A input, compare: Out2 output.
13	✓	✓	P2.5 - General-purpose digital I/O pin. TA1.2 (Timer1_A) - capture: CCI2B input, compare: Out2 output.
14	✓	✓	P1.6 - General-purpose digital I/O pin. TA0.1 (Timer0_A) - compare: Out1 output. A6(ADC10) - analog input A6. CA6 (Comparator_A+) - CA6 input. UCB0SOMI(USCI_B0) SPI mode - slave out master in. UCB0SCL(USCI_B0) I2Cmode- SCL I2C clock. TDI/TCLK (JTAG) - test data input or test clock input during programming and test.
15	✓	✓	P1.7- General-purpose digital I/O pin. A7(ADC10) - analog input A7. CA7 (Comparator_A+) - CA7 input. CAOUT (Comparator_A+) - output. UCB0SIMO(USCI_B0) SPI mode - slave in master out. UCB0SDA (USCI_B0) I2C mode - SDA I2C data. TDO/TDI (JTAG) - test data output terminal or test data input during programming and test.
16	✓		RST - Reset. NMI -Nonmaskableinterrupt input. SBWTDIO - Spy-Bi-Wire test data input/output during programming and test.
17	✓		TEST - Selects test mode for JTAG pins on Port 1. The device protection fuse is connected to TEST. SBWTCK - Spy-Bi-Wire test clock input during programming and test.
18	✓	✓	XOUT - Output terminal of crystal oscillator. P2.7- General-purpose digital I/O pin.
19	✓	✓	XIN - Input terminal of crystal oscillator. P2.6 - General-purpose digital I/O pin. TA0.1 (Timer0_A) - compare: Out1 output.
20	-	-	DVSS - Groundreference.

Tabla 16. Distribución y función de las terminales del Microcontrolador. Fuente: MSP430x2xx Family, User's Guide.

9.1.2. El CPU

La CPU MSP430 tiene una arquitectura Von Neumann de tipo RISC de 16 bits, la CPU está integrado con 16 registros que proporcionan tiempo de ejecución de instrucción reducida.

Cuatro de los registros, R0 a R3, se dedican como contador de programa, puntero de pila, registro de estado y generador de constantes respectivamente, los demás registros son registros de propósito general.

Los periféricos se conectan a la CPU a través direcciones de datos, buses de control y pueden ser manejados con todas las instrucciones.

Program Counter	PC/R0
Stack Pointer	SP/R1
Status Register	SR/CG1/R2
Constant Generator	CG2/R3
General-Purpose Register	R4
General-Purpose Register	R5
General-Purpose Register	R6
General-Purpose Register	R7
General-Purpose Register	R8
General-Purpose Register	R9
General-Purpose Register	R10
General-Purpose Register	R11
General-Purpose Register	R12
General-Purpose Register	R13
General-Purpose Register	R14
General-Purpose Register	R15

Figura 33. Configuración de pines MSP430G2553. Fuente: MSP430x2xx Family, User's Guide.

9.1.3. Set de instrucciones

El conjunto original de instrucciones consiste en 51 instrucciones con 3 formatos y 7 modos de direccionamiento e instrucciones, las tablas siguientes muestran los formatos así como el conjunto de instrucciones que utiliza el microcontrolador.

INSTRUCTION FORMAT	EXAMPLE	OPERATION
Dual operands, source-destination	ADD R4,R5	R4 + R5 --> R5
Single operands, destination only	CALL R8	PC -->(TOS), R8--> PC
Relative jump, un/conditional	JNE	Jump-on-equal bit = 0

Tabla 17. Formato de instrucción. Fuente: MSP430x2xx Family, User's Guide.

ADDRESS MODE	S	D	SYNTAX	EXAMPLE	OPERATION
Register	✓	✓	MOV Rs,Rd	MOV R10,R11	R10 --> R11
Indexed	✓	✓	MOV X(Rn),Y(Rm)	MOV 2(R5),6(R6)	M(2+R5) --> M(6+R6)
Symbolic (PC relative)	✓	✓	MOV EDE,TONI		M(ED E) --> M(TONI)
Absolute	✓	✓	MOV &MEM,&TCDAT		M(MEM) --> M(TCDAT)
Indirect	✓		MOV @Rn,Y(Rm)	MOV @R10,Tab(R6)	M(R10) --> M(Tab+R6)
Indirect autoincrement	✓		MOV @Rn+,Rm	MOV @R10+,R11	M(R10) --> R11 R10 + 2 --> R10
Immediate	✓		MOV #X,TONI	MOV #45,TONI	#45 --> M(TONI)

Tabla 18. Modo de direccionamiento. Fuente: MSP430x2xx Family, User's Guide.

Mnemonic		Description		V	N	Z	C
ADC (.B) ⁽¹⁾	dst	Add C to destination	dst + C → dst	*	*	*	*
ADD (.B)	src, dst	Add source to destination	src + dst → dst	*	*	*	*
ADDC (.B)	src, dst	Add source and C to destination	src + dst + C → dst	*	*	*	*
AND (.B)	src, dst	AND source and destination	src .and. dst → dst	0	*	*	*
BIC (.B)	src, dst	Clear bits in destination	not.src .and. dst → dst	-	-	-	-
BIS (.B)	src, dst	Set bits in destination	src .or. dst → dst	-	-	-	-
BIT (.B)	src, dst	Test bits in destination	src .and. dst	0	*	*	*
BR ⁽¹⁾	dst	Branch to destination	dst → PC	-	-	-	-
CALL	dst	Call destination	PC+2 → stack, dst → PC	-	-	-	-
CLR (.B) ⁽¹⁾	dst	Clear destination	0 → dst	-	-	-	-
CLRC ⁽¹⁾		Clear C	0 → C	-	-	-	0
CLRN ⁽¹⁾		Clear N	0 → N	-	0	-	-
CLRZ ⁽¹⁾		Clear Z	0 → Z	-	-	0	-
CMP (.B)	src, dst	Compare source and destination	dst - src	*	*	*	*
DADC (.B) ⁽¹⁾	dst	Add C decimally to destination	dst + C → dst (decimally)	*	*	*	*
DADD (.B)	src, dst	Add source and C decimally to dst	src + dst + C → dst (decimally)	*	*	*	*
DEC (.B) ⁽¹⁾	dst	Decrement destination	dst - 1 → dst	*	*	*	*
DECD (.B) ⁽¹⁾	dst	Double-decrement destination	dst - 2 → dst	*	*	*	*
DINT ⁽¹⁾		Disable interrupts	0 → GIE	-	-	-	-
EINT ⁽¹⁾		Enable interrupts	1 → GIE	-	-	-	-
INC (.B) ⁽¹⁾	dst	Increment destination	dst + 1 → dst	*	*	*	*
INCD (.B) ⁽¹⁾	dst	Double-increment destination	dst+2 → dst	*	*	*	*
INV (.B) ⁽¹⁾	dst	Invert destination	.not.dst → dst	*	*	*	*
JC/JHS	label	Jump if C set/Jump if higher or same		-	-	-	-
JEQ/JZ	label	Jump if equal/Jump if Z set		-	-	-	-
JGE	label	Jump if greater or equal		-	-	-	-
JL	label	Jump if less		-	-	-	-
JMP	label	Jump	PC + 2 × offset → PC	-	-	-	-
JN	label	Jump if N set		-	-	-	-
JNC/JLO	label	Jump if C not set/Jump if lower		-	-	-	-
JNE/JNZ	label	Jump if not equal/Jump if Z not set		-	-	-	-
MOV (.B)	src, dst	Move source to destination	src → dst	-	-	-	-
NOP ⁽²⁾		No operation		-	-	-	-
POP (.B) ⁽²⁾	dst	Pop item from stack to destination	@SP → dst, SP+2 → SP	-	-	-	-
PUSH (.B)	src	Push source onto stack	SP - 2 → SP, src → @SP	-	-	-	-
RET ⁽²⁾		Return from subroutine	@SP → PC, SP + 2 → SP	-	-	-	-
RETI		Return from interrupt		*	*	*	*
RLA (.B) ⁽²⁾	dst	Rotate left arithmetically		*	*	*	*
RLC (.B) ⁽²⁾	dst	Rotate left through C		*	*	*	*
RRA (.B)	dst	Rotate right arithmetically		0	*	*	*
RRC (.B)	dst	Rotate right through C		*	*	*	*
SBC (.B) ⁽²⁾	dst	Subtract not(C) from destination	dst + 0FFFFh + C → dst	*	*	*	*
SETC ⁽²⁾		Set C	1 → C	-	-	-	1
SETN ⁽²⁾		Set N	1 → N	-	1	-	-
SETZ ⁽²⁾		Set Z	1 → Z	-	-	1	-
SUB (.B)	src, dst	Subtract source from destination	dst + .not.src + 1 → dst	*	*	*	*
SUBC (.B)	src, dst	Subtract source and not(C) from dst	dst + .not.src + C → dst	*	*	*	*
SWPB	dst	Swap bytes		-	-	-	-
SXT	dst	Extend sign		0	*	*	*
TST (.B) ⁽²⁾	dst	Test destination	dst + 0FFFFh + 1	0	*	*	1
XOR (.B)	src, dst	Exclusive OR source and destination	src .xor. dst → dst	*	*	*	*

Tabla 19. Set de instrucciones. Fuente: MSP430x2xx Family, User's Guide.

9.1.4. Modos de operación

El MSP430 tiene un modo activo y cinco modos de operación en modo bajo consumo seleccionables por software.

Un evento de interrupción puede despertar al dispositivo de cualquiera de los modos anteriores, petición de uso y regreso al modo de bajo consumo.

Es importante destacar lo anterior debido que el proyecto necesita un modo de bajo consumo para permanecer mucho tiempo “dormido” y después poder usarlo nuevamente, lo anterior se puede apreciar mejor en la Figura 8.

Los siguientes 6 modos de operación pueden ser configurados vía software:

- **Modo Activo (AM)**
Todos los relojes están activos.

- **Modo de bajo consumo (LPM0)**
Se desactiva el CPU.
ACLK y SMCLK permanecen activos, MCLK es deshabilitado.

- **Modo de bajo consumo 1 (LPM1)**
Se desactiva el CPU.
ACLK y SMCLK permanecen activos, MCLK es deshabilitado.
El oscilador digital controlado (DCO) es deshabilitado si no es usado en modo activo.

- **Modo de bajo consumo 2 (LPM2)**
Se desactiva el CPU.
MCLK y SMCLK son deshabilitados.
El oscilador digital controlado permanece activado.
ACLK permanece activo.

- **Modo de bajo consumo 3 (LPM3)**
Se desactiva el CPU.
MCLK y SMCLK son deshabilitados.
El oscilador digital controlado (DCO) es deshabilitado.
ACLK permanece activo.

- **Modo de bajo consumo 4 (LPM4)**
Se desactiva el CPU.
ACLK es deshabilitado.
MCLK y SMCLK son deshabilitados.
El oscilador digital controlado (DCO) es deshabilitado.

El oscilador de cristal es detenido.

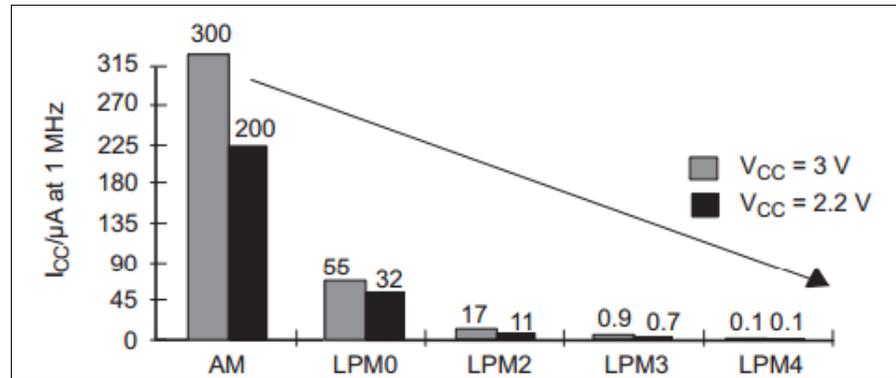


Figura 34. Corriente típica consumida con respecto a los modos de operación. Fuente: MSP430x2xx Family, User's Guide.

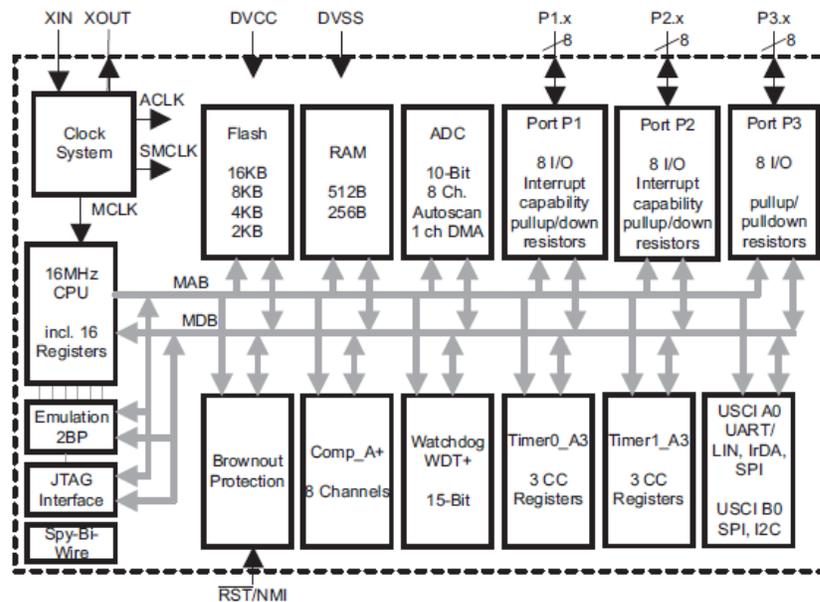


Figura 35. Diagrama funcional del microcontrolador. Fuente: MSP430x2xx Family, User's Guide.

9.2. La estructura

Se usará una estructura de aluminio en la cual se van a incorporar los elementos necesarios para que el sistema pueda tener movimiento, se utilizarán sólo 2 grados de movimiento, el primero lo proporcionará un motor en la base que nos dará movimiento de 360°, el segundo será un motor que se acoplará encima de una placa que estará en la base montada y el cual tendrá más de 180°, encima de este último se colocará otra base de aluminio para poder así poner el espejo que se encargará de desviar la luz del Sol hacia el objetivo deseado.

La base estará tentativamente conformada por un tubo de metal para sostener el sistema, una base circular de metal y encima una cúpula de vidrio que se encargará de proteger a la estructura metálica y la celda solar primordial para el funcionamiento del prototipo.

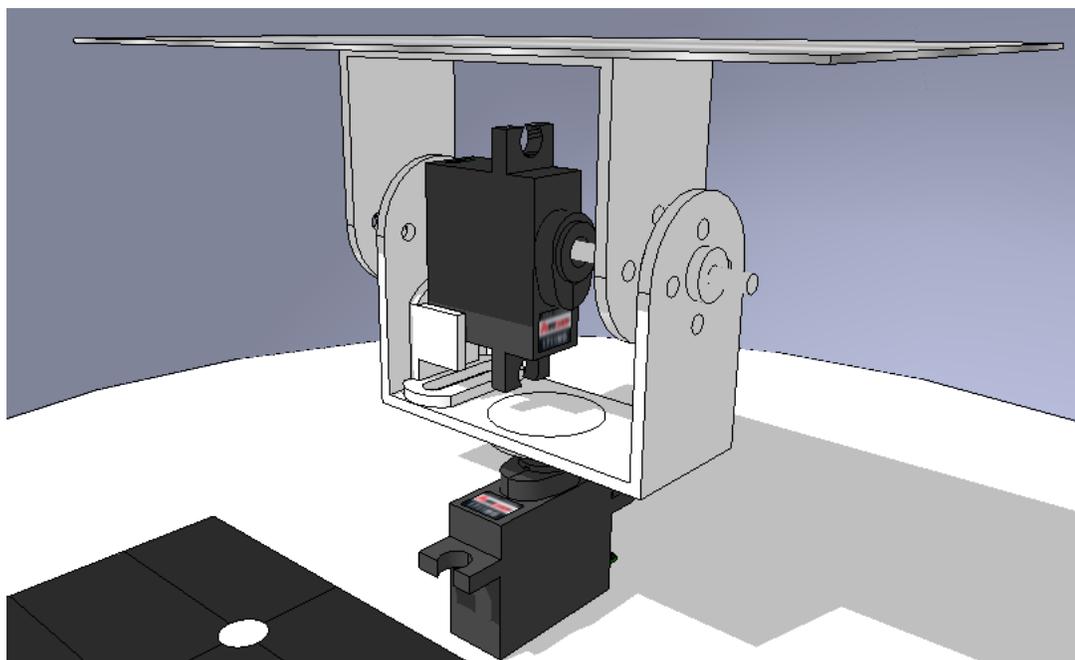


Figura 36. Motores y estructura.

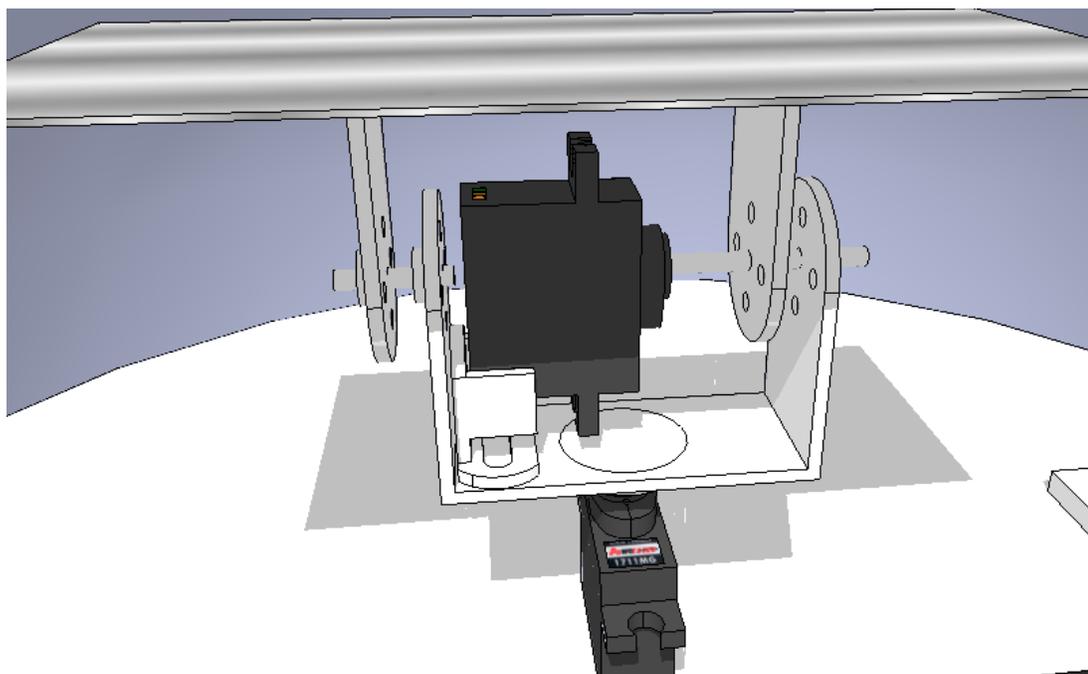


Figura 37. Motores y estructura (segunda vista).

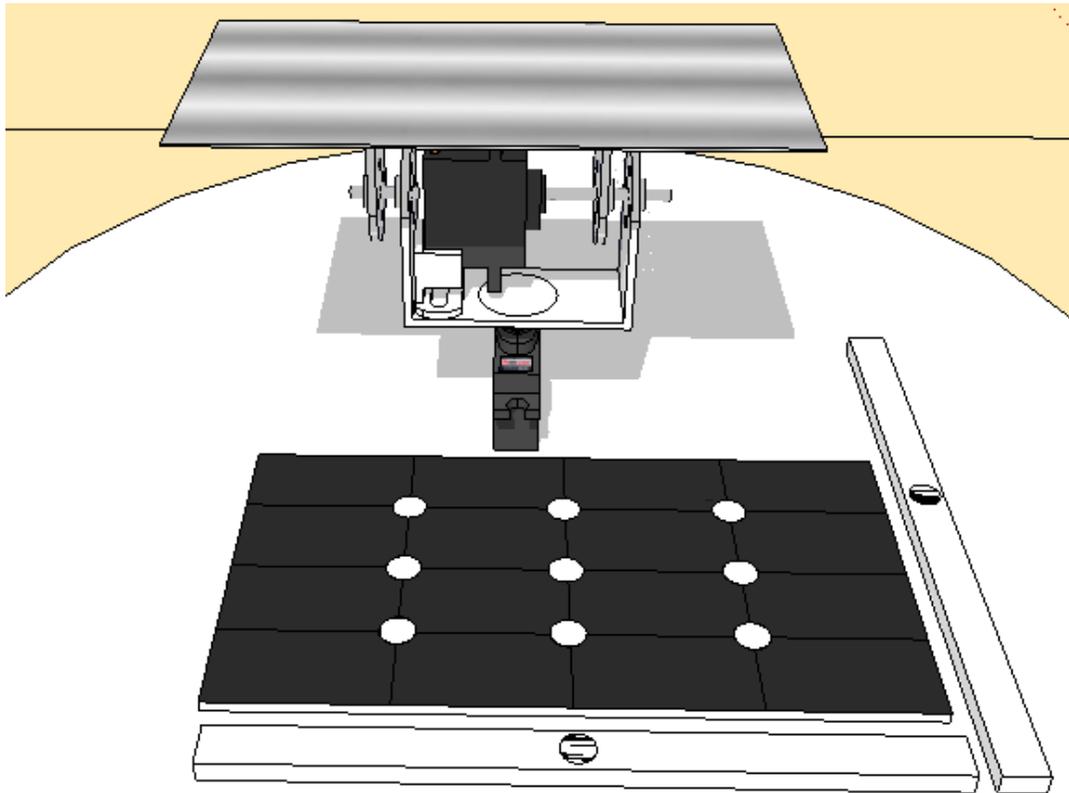


Figura 38. Estructura, celda solar y barras de sensores.

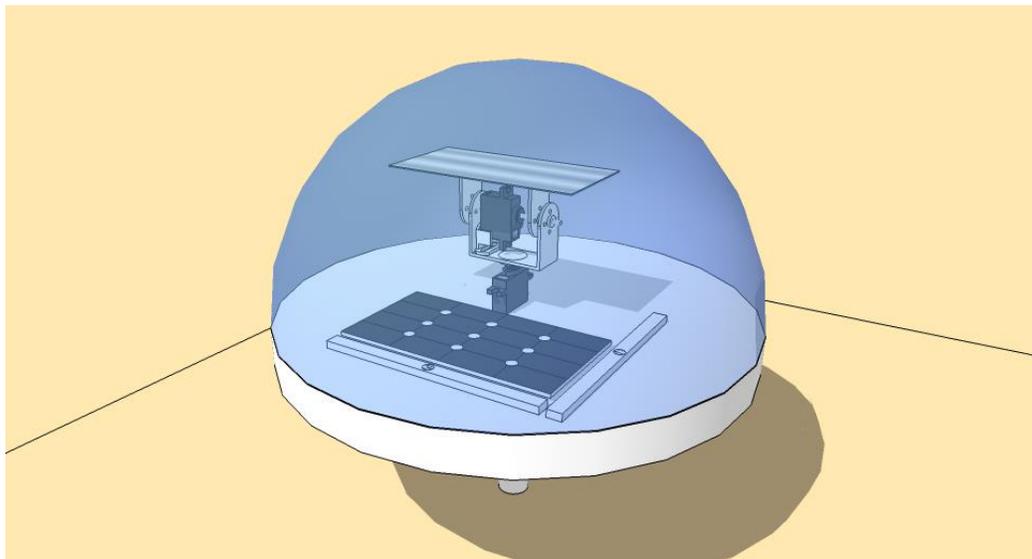


Figura 39. Base completa y sistema montado totalmente.

El cableado y el circuito se encontrarán dentro de la base circular proporcionando protección contra el deterioro debido al medio ambiente.

9.3. Sensores fotovoltaicos

Debido a la naturaleza del prototipo (medición de señales análogas) se plantea la necesidad de usar sensores que permitan ser lo suficientemente sensibles como para captar de forma precisa la luz del sol, con ello el ángulo de incidencia será casi exacto y así el espejo reflejará mejor la luz solar.

Se optó por utilizar sensores LDR o comúnmente conocidos como fotorresistencias los cuales son un tipo de resistencia que varía en función de la luz que incide sobre su superficie, mismos que están específicamente asignados para este tipo de tareas.

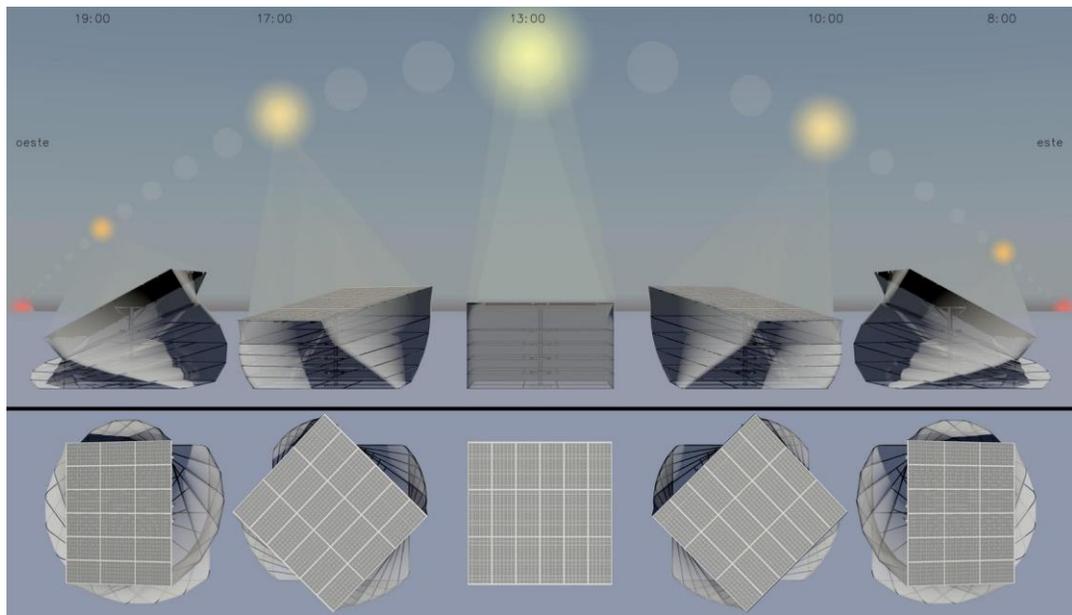


Figura 40. Trayectoria común de un seguidor solar típico.

El comportamiento de este sensor además de su ventaja principal es que existe una correspondencia biunívoca entre la cantidad de luz captada y la resistencia que varía, con lo que las magnitudes que arroja de salida tienen cierto grado de precisión.

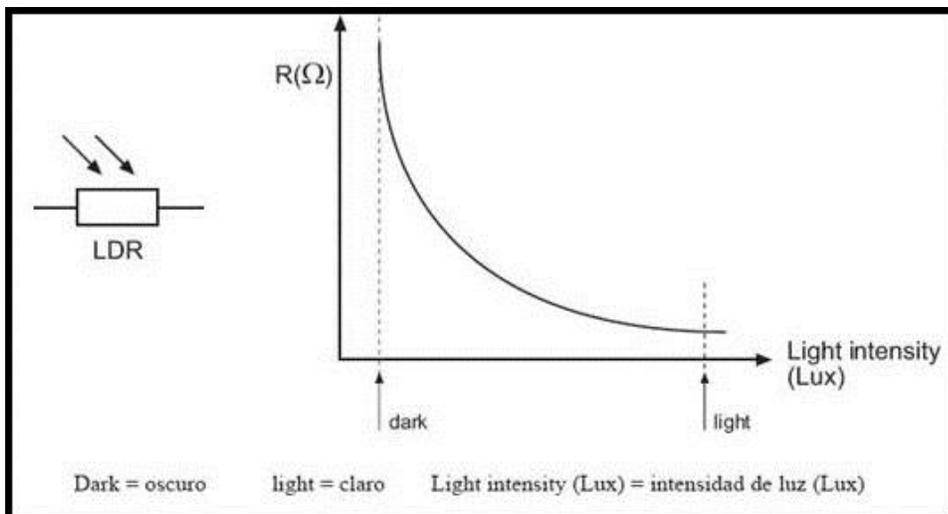


Figura 41. Curva característica de una fotorresistencia (LDR). Fuente: <http://picaxe.electronicasimple.com>.

Se planea utilizar varios de este tipo de sensores dentro de dos barras, una para calcular la posición en el eje “X” y la otra barra para calcular la posición en el eje “Y”, las dos estarán completamente cerradas para impedir el paso de la luz a excepción de que tendrán un agujero que se encontrará en medio de las barras con lo que la luz que incida dependerá de la posición del sol (ver figura 33).

Con lo anterior podremos conocer la posición del Sol para posteriormente calcular el ángulo de reflexión, mismo que es primordial para el fin de este proyecto.

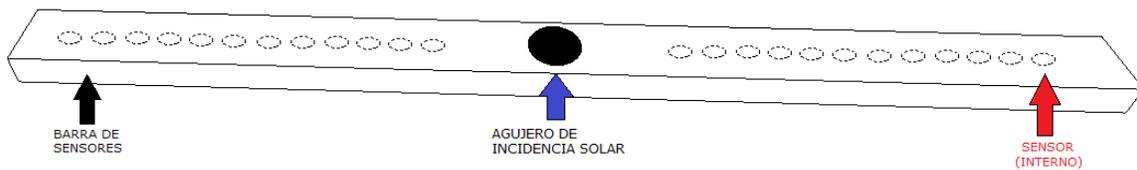


Figura 42. Barra de sensores.

9.4. Celdas Fotovoltaicas

El funcionamiento del sistema depende de la energía solar, por ello una forma de obtener dicha energía es por medio de celdas fotovoltaicas. Las celdas están formadas por dos elementos principales: un ánodo y un cátodo. Están formadas, comúnmente, de silicio.

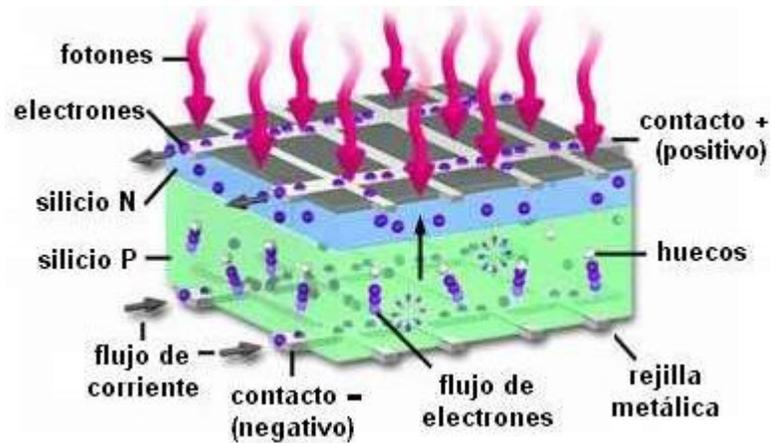


Figura 43. Representación del flujo de electrones. Fuente: Celdas fotovoltaicas [39].

A nivel atómico, cuando la luz hace contacto al material semiconductor de tipo N por el lado positivo, los electrones sobrantes se desprenden del material, lo cual crea una carga positiva. Del otro lado, el material de tipo P, que tiene huecos de sobra, cuando recibe dichos electrones genera una carga negativa. Una vez pasado esto, en la unión de contacto de los materiales P y N se forma un campo eléctrico, los huecos se regresan al lado positivo y los electrones se muevan hacia el lado negativo del material, creando corriente eléctrica. El principio de este funcionamiento es como si de una batería se tratase.

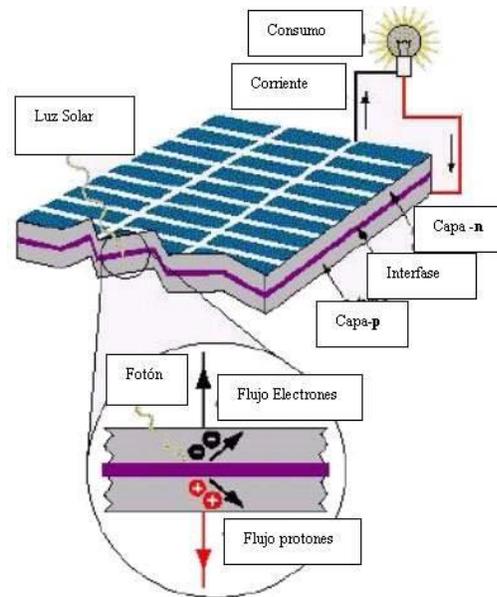


Figura 44. Proceso de obtención de energía eléctrica. Fuente: Celdas fotovoltaicas [39].

Existen diferentes tipos de celdas fotovoltaicas.

- De silicio amorfo: cuando se creada esta celda, el silicio produce un gas que se proyecta en vidrio. La celda es de un color obscuro y es comúnmente usada en las calculadoras.
- De silicio monocristalino: cuando se solidifica el silicio, este crea una lámina de cristal de gran tamaño, esta se corta en delgadas capas para crear pequeñas celdas. Su color es de una tonalidad azul uniforme.
- De silicio policristalino: en ella se forman varios cristales cuando se somete en el proceso de enfriamiento. Su color también azulado, pero la cristalización se observa directamente con diferentes tonalidades del tono azul.

El proyecto tiene que ser sustentable, es por ello que se decidió que se unieran pedazos de celdas rotas para formar una celda mayor, con el propósito de reutilizar el material que ya está desechado y reciclar. Las celdas que se utilizarán son de tipo policristalino y monocristalino.

CAPÍTULO 10. DISEÑO DEL PCB

Antes de entrar de lleno en el diseño del PCB, se tiene que determinar qué elementos se necesitan en la placa. El sistema se puede dividir en 4 bloques:

- Señales de entrada: en ellos se tienen en cuenta los fotorresistores.
- Señal de salida: Es la salida hacia los servomotores.
- Proceso: en este bloque se integran el microcontrolador y los elementos para su programación.
- Alimentación: se compone desde que las celdas solares, el guardado de energía por capacitores, la conversión de voltaje a 5 volts (servomotores) y 3 volts (microcontrolador).

Teniendo en cuenta lo necesario para el sistema, es hora de realizar el diseño.

Para este paso se utilizó el software de diseño de PCB “EAGLE” con la versión 7.3.0.

Ver Figura 45.

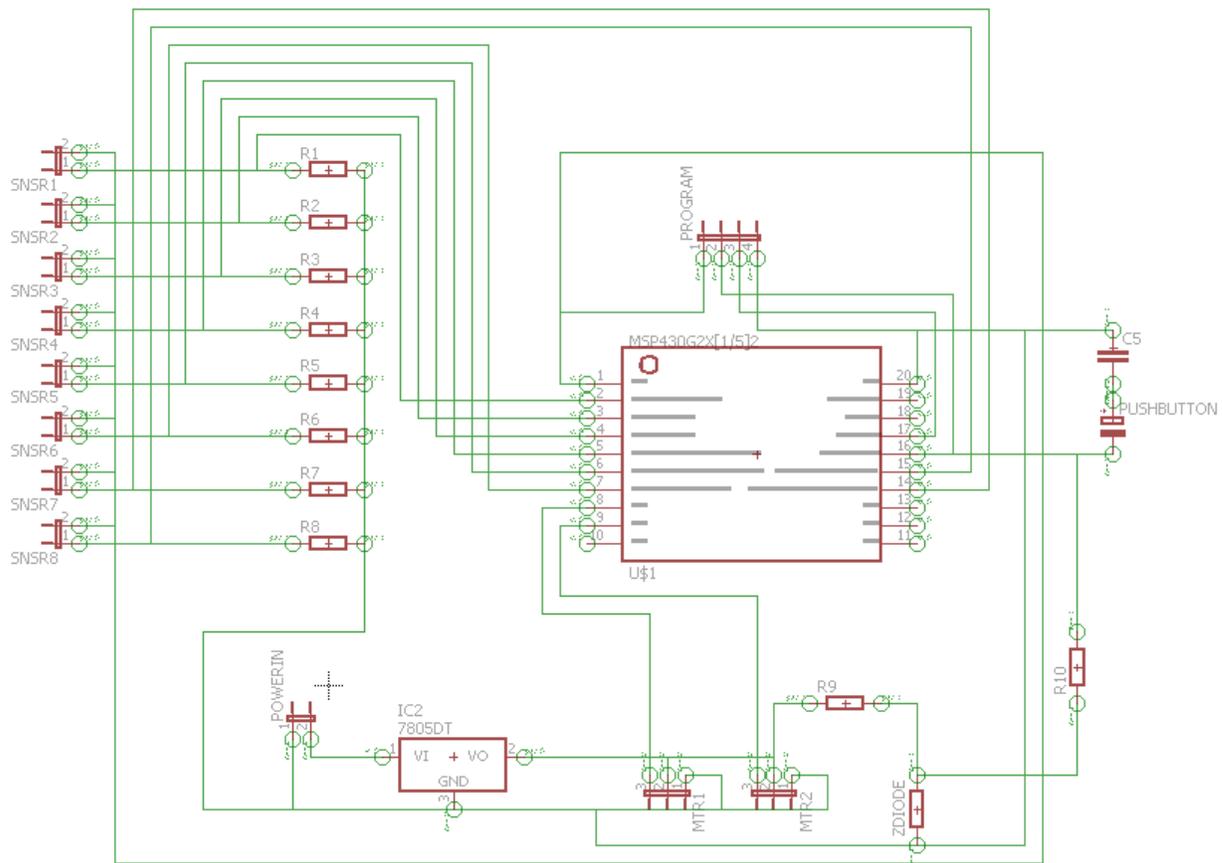


Figura 45. Diseño esquemático.

En el esquemático se puede observar:

- Resistencias: de R1 al R8, 8 de 560K Ω ; R9 de 100 Ω ; R10 de 47K Ω .
- Capacitores: C5 de 1nF.
- Diodo Zener.
- Push button.
- Transistor 7805.
- Headers para los pines.

Eagle nos da la opción de transportar los dispositivos electrónicos a un diseño PCB, si se selecciona esa opción, automáticamente se creará otro archivo de tipo .brd en el cual se realizará el diseño del PCB. Ahora en el nuevo archivo hay que acomodar los dispositivos en un área y como mejor convenga.

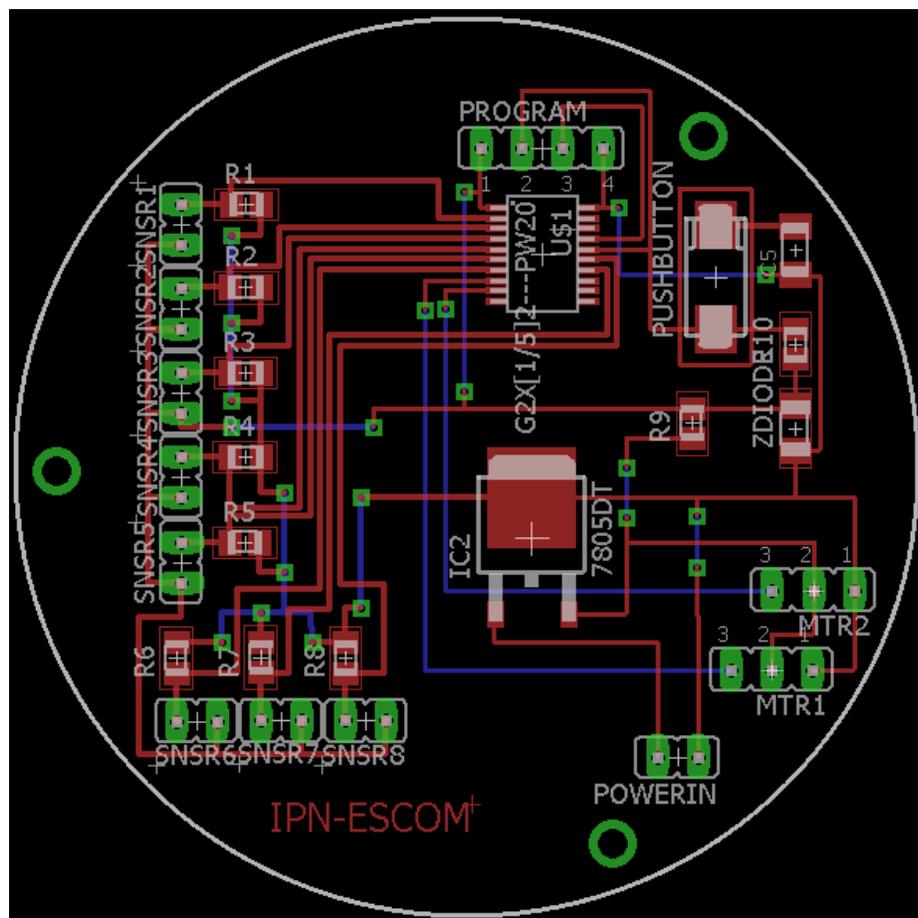


Figura 46. Diseño final del PCB.

Como se observa en la figura 46, el diámetro del PCB es de 5.6 mm. El circuito de impresión es de doble cara, esto quiere decir que por las dos caras de la placa de cobre se soldarán dispositivos. Los elementos electrónicos (microcontrolador, las resistencias, los capacitores, el 7805, el pushbutton, el diodo zener) son de montaje superficial, esto quiere decir que se soldan en la misma cara de la placa y no del modo tradicional. En la figura, las líneas color rojo son de la parte de arriba y las líneas color azul pertenecen a la parte de abajo.

CAPÍTULO 11. FABRICACIÓN DEL PCB

EL software EAGLE nos permite diseccionar el archivo del PCB en varios sub archivos. Abrimos EAGLE, en la opción del menú se abre la pestaña CAM Jobs y se seleccionan excellon.cam y gerb274x.cam (figura 47).

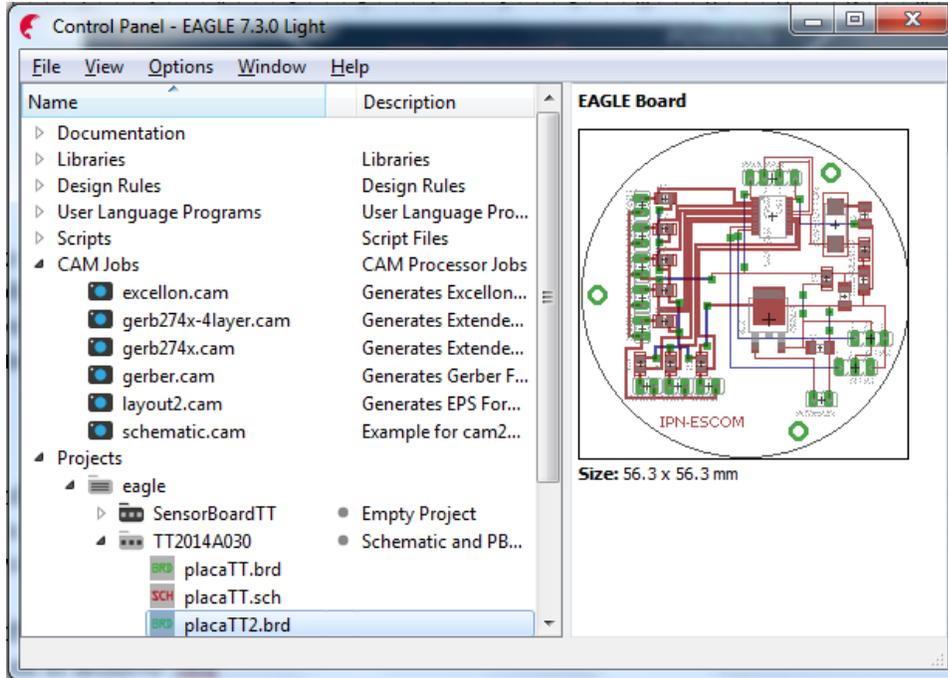


Figura 47. CAM Jobs.

Entre los archivos que se crean se encuentran: cbf, cmp, gpi, plc, sol, stc, sts, drd, dri, b#1. Estos archivos sirven para crear el circuito en otra placa de cobre.

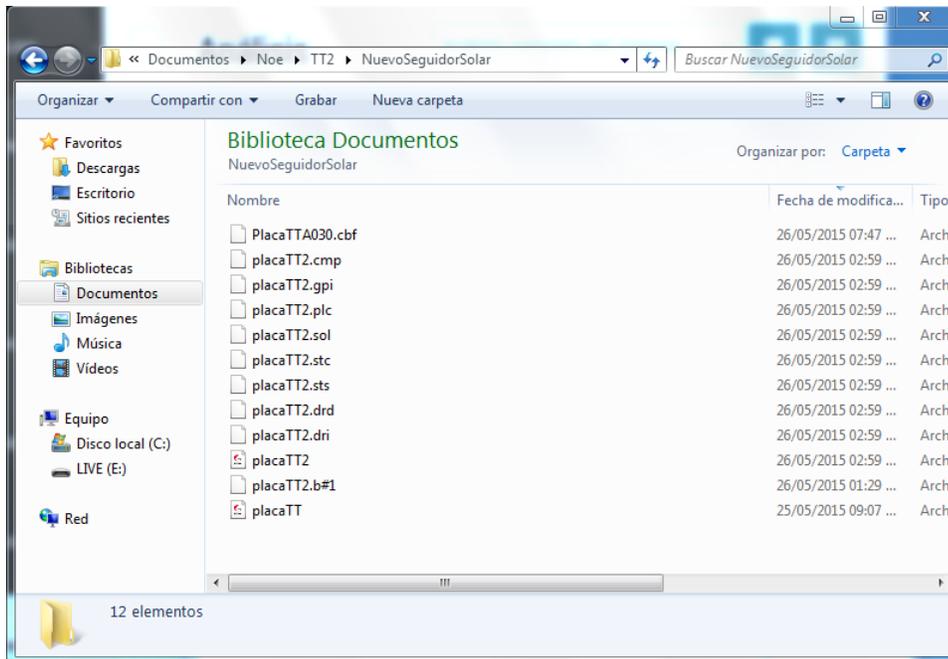


Figura 48. Archivos creados por EAGLE.

Para la fabricación del circuito PCB se utilizó:

- Software CIRCUIT PRO versión 1.5 de la empresa LPKF Laser & Electronics.
- ProtoMat S63 de LPKF Laser & Electronics.
- Protoplace S de LPKF Laser & Electronics.
- Metalizadora de cobre MiniContac RS de LPKF Laser & Electronics.
- Laminadora, enmicadora industrial.
- Laminadora de rayos ultra violeta.

Se crearon dos versiones de la placa con dos metodologías completamente diferentes.

11.1. Versión 1

Para la primera versión se utilizó la maquina ProtoMat, que por medio de brocas le da el diseño deseado a una placa de cobre, así mismo corta la placa al tamaño. Ilustración 2.

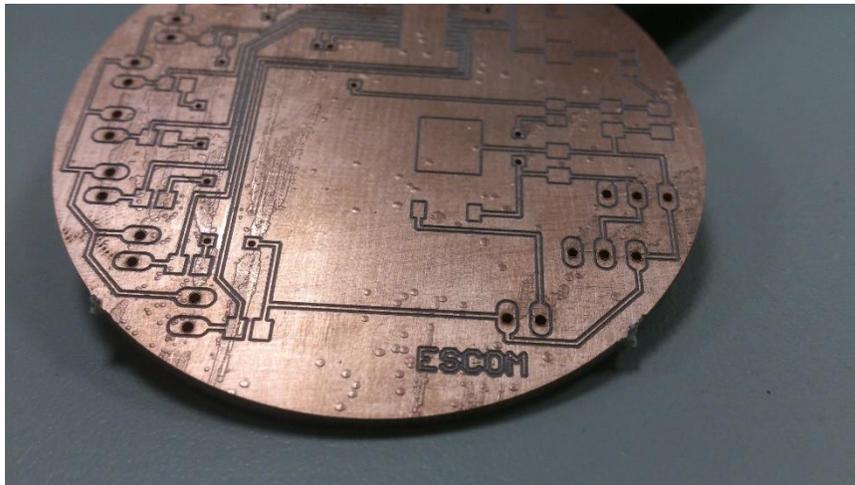


Ilustración 1. Circuito en placa de cobre.

Una vez que se tiene la placa, con la laminadora industrial se le coloca la máscara antisoldante en las dos caras del circuito. Se coloca la placa con la máscara en la laminadora de rayos UV por 30 segundos para que la máscara se adhiera a la placa y después se sumerge en carbonato de sodio, así se tendrá un acabado profesional, ilustración 3.



Ilustración 2. Versión 1 de la placa final.

Por este método, hacer la placa es relativamente rápido, pero existe el riesgo de que ocurra un corto circuito ya que las brocas no llegan a cortar bien la placa. Debido a lo anterior se optó por el segundo método, por el de metalización.



Ilustración 3. PCB con elementos electrónicos soldados.

11.2. Versión 2

El método de la versión dos es por medio de la metalización. En este, se imprimen en hojas de acetato el negativo del circuito impreso. Por otra parte, la placa de cobre se agujera con la maquina ProtoMat y se corta al diámetro deseado. Se deja por alrededor de 5 horas en la metalizadora de cobre. Ya al PCB cortado y metalizado se le pone encima un recubrimiento plástico llamado fotorresist de color azul y se aplana con la enmicadora industrial. Después se coloca la placa en la laminadora de rayos UV y encima de la placa se pone el negativo del circuito impreso, de esta forma se adhiere el plástico. Y se deja reposar en carbonato de sodio por 30 minutos. Se enjuaga y ahora se sumerge en cloruro férrico, solamente deja el cobre en las pistas y en los lugares donde van los circuitos; ahí se deja reposar alrededor de 1 hora. Por último, se vuelve a hacer el proceso de enmicado con la máscara antisoldante.

En la ilustración 5 y 6 se puede ver el acabado final de la placa por este método ya con los elementos soldados. Aunque este método es muy tardado, el PCB no mostró ningún defecto probando así que el diseño y la técnica de elaboración fueron satisfactorios.

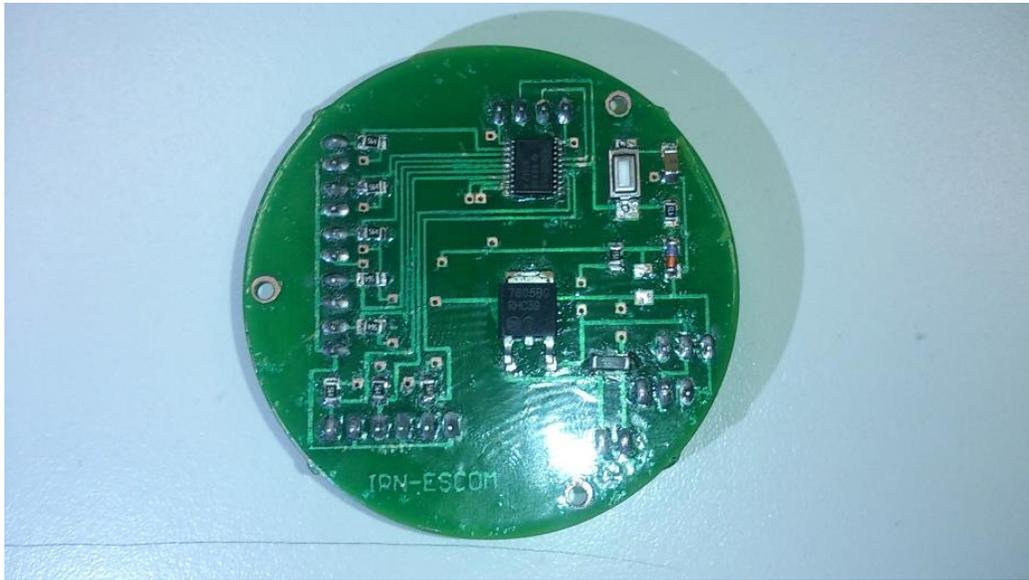


Ilustración 4. Parte frontal del PCB finalizado.

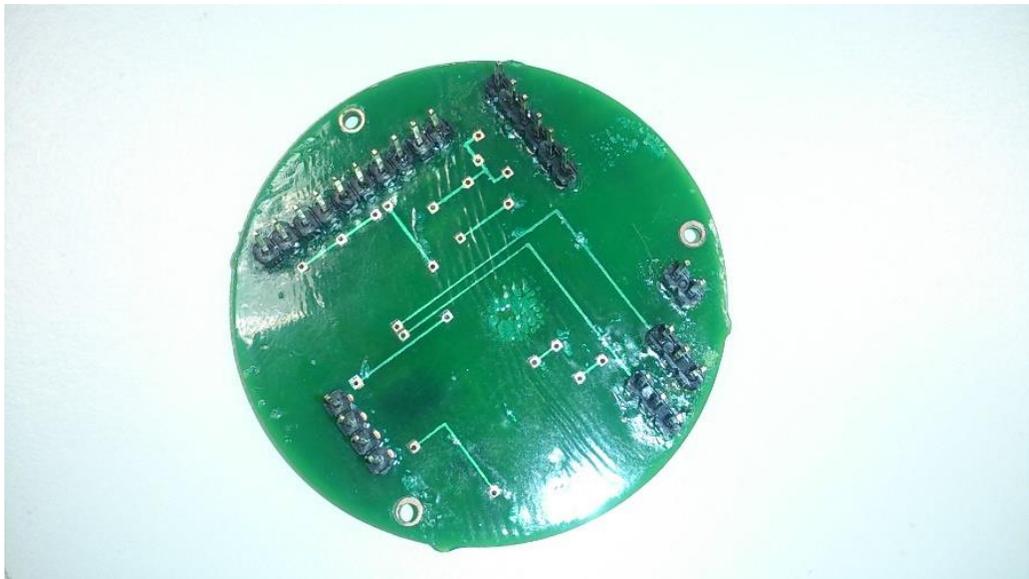


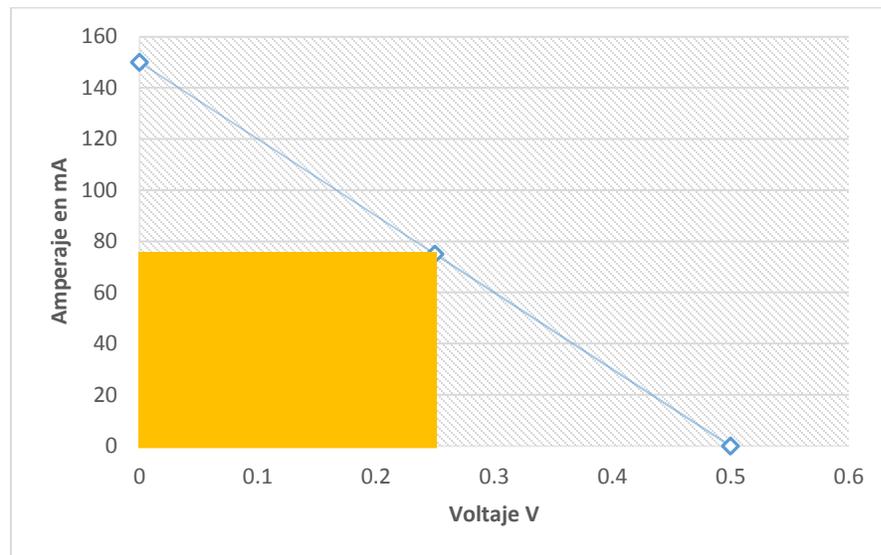
Ilustración 5. Parte trasera del PCB finalizado.

CAPÍTULO 12. MONTAJE DEL MECANISMO

12.1. Fuente de alimentación

12.1.1. Celdas fotovoltaicas

Como se propuso en el diseño, las celdas son de policristalino y monocristalino. Al hacer la medición solamente un pedazo de celda de un tamaño aproximado de 8cm X 3.8cm directamente hacia el Sol a la hora de 15:00 horas nos dio una medición de 0.5 volts y 150mA. Si tomamos la media del voltaje y la corriente, obtenemos un punto que va de 0.25 V y 75 mA. En el área que se forma con ese punto en el eje X y el eje Y es la potencia máxima. En la gráfica 1 se representa de color naranja.



Gráfica 1. Potencia máxima.

Según la fórmula de la potencia:

$$p = \text{voltaje} * \text{corriente}$$

Así tenemos que:

$$0.25 * 75\text{mA} = 18 \text{ mWhats}$$

La forma en la que se soldaron las celdas fue forma paralela ya que con esta configuración obtenemos una corriente mayor, la cual es necesaria para poder mover a los servomotores. Al momento de juntar los pedazos de celdas, estas se pegaron en un acrílico de 20X20 cm y 3 mm de grosor, su función es para protegerlas ya que son demasiado frágiles.



Ilustración 6. Celdas pegadas y soldadas en el acrílico.

Ahora sacamos las celdas al Sol y tomamos las medidas de voltaje y corriente por medio de un multímetro. En las mediciones:

- El voltaje máximo es de 2V y el mínimo es de 1.5V
- La corriente máxima es de 1.4mA y el mínimo es de 150mA

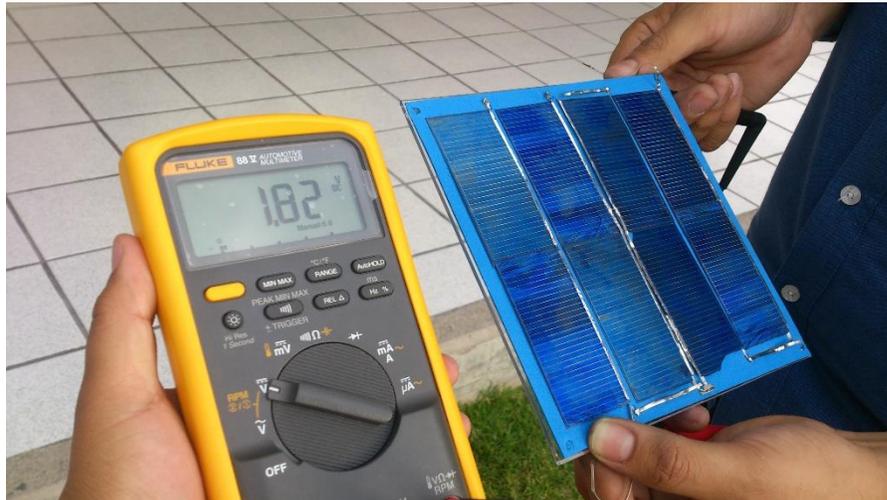


Ilustración 7. Medición de voltaje con el multímetro.

Por último, tapamos las celdas con el acrílico y las cerramos herméticamente con sellador para vidrios.

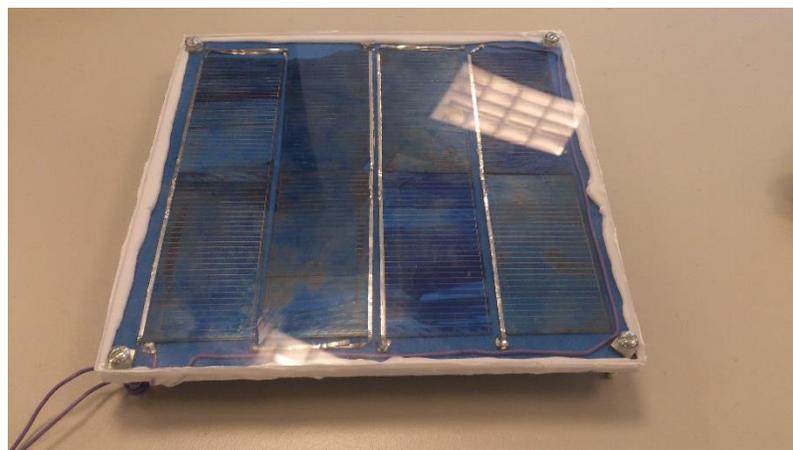


Ilustración 8. Celdas fotovoltaicas.

12.1.2. Almacenado de energía

Para el almacenado de energía, es importante mencionar que no se utilizarán baterías. Se calcula que en los últimos 43 años, en el territorio nacional se han liberado al ambiente aproximadamente 635 mil toneladas de pilas, cuyos contenidos incluyen elementos inocuos al ambiente y a la salud (en cantidades proporcionalmente adecuadas), como carbón (C) o zinc (Zn), pero también elementos que pueden representar un riesgo debido a los grandes volúmenes emitidos, como es el caso de 145,918 toneladas de dióxido de manganeso (MnO₂) y otros elementos tóxicos como 1,232 toneladas de mercurio (Hg); 22,063 toneladas de níquel (Ni); 20,169 toneladas de cadmio (Cd) y 77 toneladas de compuestos de litio (Li). Dichas sustancias tóxicas representan casi el 30% del volumen total de residuos antes mencionado, es decir, aproximadamente 189,382 toneladas de materiales tóxicos para el periodo comprendido entre 1960 y 2003. (Fuente: SEMARNAT, México).

Por esta razón se decidió que la mejor manera de almacenar energía, es por medio de capacitores electrolíticos. Están contruidos de dos placas de aluminio y tienen en medio un conductor electrolítico, este se encuentra hecho de ácido bórico o borato de sodio y aunque puede ser contaminante se encuentra en cantidades muy pequeñas. Los capacitores llegan a tener una vida útil de 15 años si se les opera bajo una temperatura de alrededor de 45°C. Además, no es necesario almacenar grandes cantidades de energía. El microcontrolador, con sus modos de operación, maneja bajas corrientes al igual que los sensores, y los servomotores pueden funcionar desde 180 mA.

Se conectaron en paralelo 4 capacitores formando una capacitancia total de 5200µf. El voltaje de entrada es de 20V.

12.2. Selección de motores

Para el movimiento que realiza el espejo, de enfocarse en un solo punto, es necesario que el sistema necesite dos grados de libertad (elevación y azimut). La elevación debe permitir 180 grados de movimiento y el azimut 90 grados como mínimo. Los motores deben sostener el peso del espejo, el cual se calcula es de 500 gramos. Tolerar una temperatura de entre 30 y 40 grados centígrados. Los motores deben de contar con un mecanismo de control, el cual permita que se mantenga en una sola posición. Debe manejar corriente y voltaje bajo.

Con las características antes descritas, el motor que se eligió es el servomotor. Este dispositivo, cuenta con la ventaja de que por medio de un pulso de control, este se mantiene en una sola posición angular y conserva dicha posición hasta que se le dé otra señal de movimiento.

Cuenta con 3 elementos importantes para su funcionamiento.

- Motor de corriente continua.
- Engranajes reductores: Se utilizan para convertir la velocidad del motor en torque.
- Circuito de control: Este se encarga de recibir los pulsos de entrada y mover el motor a una posición.

El servomotor es el Analog Servo con el modelo 1711MG, versión 1 de la empresa PowerHD.



Figura 49. Servomotor 1711MG, PowerHD. Fuente: ebay.es.

Entre las características más importantes y necesarias para el prototipo, tenemos:

- Temperatura de operación: $-10^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$.
- Voltaje de operación: $4.8\text{V} - 6\text{V}$.
- Torque: $2.9\text{Kg/cm} - 3.5\text{Kg/cm}$.
- Corriente: $180\text{mA} - 1400\text{mA}$.
- Angulo límite: 210° .
- Rango por ancho de pulso: $800 - 2200\mu\text{sec}$.

12.3. Protección

Para la protección del sistema, se tiene una esfera transparente de acrílico de tamaño R10. Se pretendía que esta fuese de vidrio, pero debido a su alto costo se descartó la idea. En la parte inferior de la esfera se le hicieron agujeros para que el sistema sea soportado por 2 espárragos de 20 cm y 29 cm respectivamente.



Figura 50. Esfera de acrílico.

12.4. Montado de motores

La estructura donde van montados los servomotores está hecha de un material llamado Sintra, la cual es muy resistente y al aplicarle calor se vuelve maleable. Como se había mencionado en capítulos anteriores, el sistema lleva una esfera protectora, entonces, la estructura debe entrar en la boquilla. Las dimensiones se pueden ver en la siguiente figura.

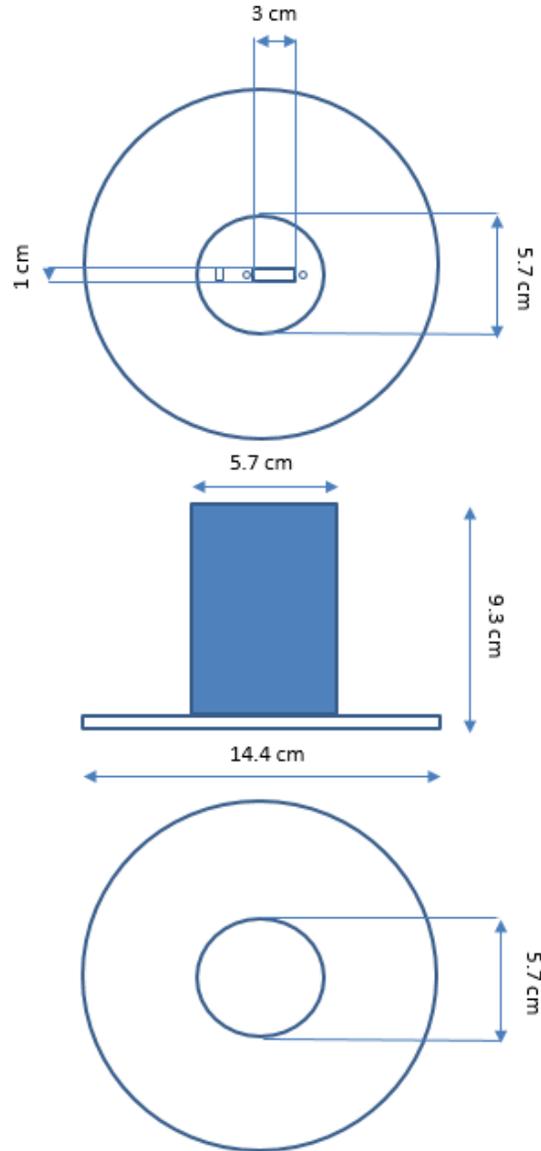


Figura 51. Parte superior, central e inferior de la estructura de Sintra.

Como se observa, la estructura es circular para que se adapte a la boquilla. La altura se determinó para que el espejo quede exactamente en la parte media de la esfera y pueda ocupar el máximo de espacio. En la siguiente ilustración se puede observar que por la parte baja se encuentra el servo de azimut y arriba, esta sostenido por una pequeña estructura de aluminio, el servo de elevación.



Ilustración 9. Montado de la estructura de los servomotores.

12.5. Montado de sensores

En el diseño específico del sistema, se mencionó que los sensores se integrarán en una estructura, esta tiene un orificio al cual le entra luz y hace le envía un voltaje al microcontrolador.

Siguiendo esta idea, se crearon dos cajas pequeñas, una para el azimut y otra para la elevación. El de azimut tiene una dimensión de 6 x 2 x 3.3cm, está diseñado para contener 3 fotorresistencias. El material es de cintra y en vez de ser un pequeño orificio en la parte superior, tiene un corte perpendicular a los sensores, así podrá corregir su ángulo a lo largo del día. En el caso de la estructura de elevación, se diseñó de la misma manera, pero con 5 fotorresistencias, con una dimensión de 11 x 2 x 3.3cm. A ambos montajes se les puso una lámina de acetato para protegerlas del medio ambiente. Cada sensor tiene su respectivo cableado que va hacia el microcontrolador.

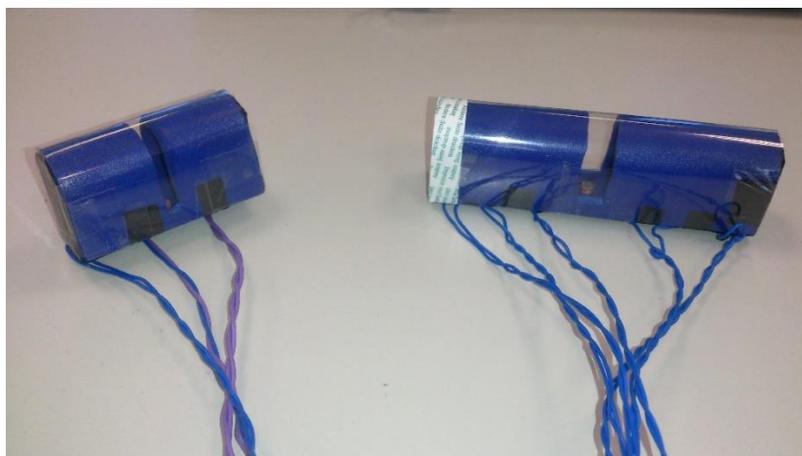


Ilustración 10. Sensores montados en la estructura.

CAPÍTULO 13. PROGRAMACIÓN DEL DISPOSITIVO

Antes de entrar directo a la programación, primero hay que definir un algoritmo el cual nos ayude a corregir el ángulo en el movimiento de los servomotores el cual nos permita reflejar la luz hacia un punto específico.

13.1. Análisis

Bien se sabe que el movimiento de la tierra contempla dos ejes, Azimut y elevación, los cuales ya se definieron con anterioridad. Entonces, se tiene 2 ángulos los cuales son nuestras señales de entrada y salida.

Por parte de la entrada, se cuenta con dos grupos de sensores. Para el azimut, hay tres sensores contenidos en una caja sellada con una abertura en la parte media, y exactamente igual para la elevación, la única diferencia es que se encuentran 5 sensores. En la salida, dos servomotores son los encargados de realizar el movimiento.

La posición de los sensores en los contenedores nos otorgará diferentes ángulos a diferentes horas del día en diferentes épocas del año. Podemos definir los ángulos cuando la luz entra directamente e incide en los sensores. La elevación se puede describir en la siguiente figura, en la cual se observa como en diferentes horas del día el Sol se posiciona en diferentes ángulos con respecto a la barra contenedora de sensores.

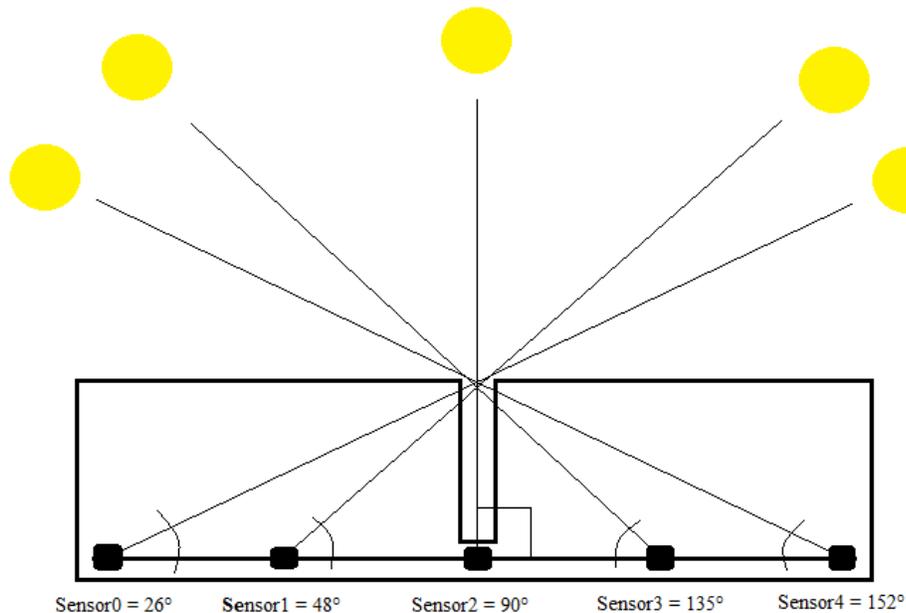


Figura 52. Ángulos de elevación obtenidos en el contenedor.

Para el caso del azimut, las mediciones son completamente diferentes, ya que en cada época del año el Sol se posiciona en diferentes ángulos tomando en cuenta el norte y el sur. Por ejemplo, en el capítulo 4. Registro de la trayectoria solar, mientras que en invierno el Sol se posiciona bastantes grados hacia el sur, en el verano ocurre todo lo contrario y pareciera que se transfiere hacia el norte con un ángulo más pronunciado. Y nos dimos cuenta que para primavera y otoño tiene el mismo ángulo. Determinamos que este contenedor tiene que estar perpendicular de este a oeste.

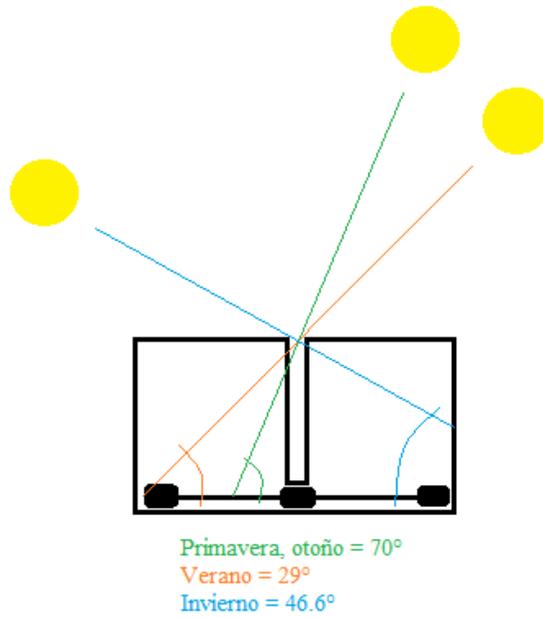


Figura 53. Ángulos de azimut obtenidos en el contenedor.

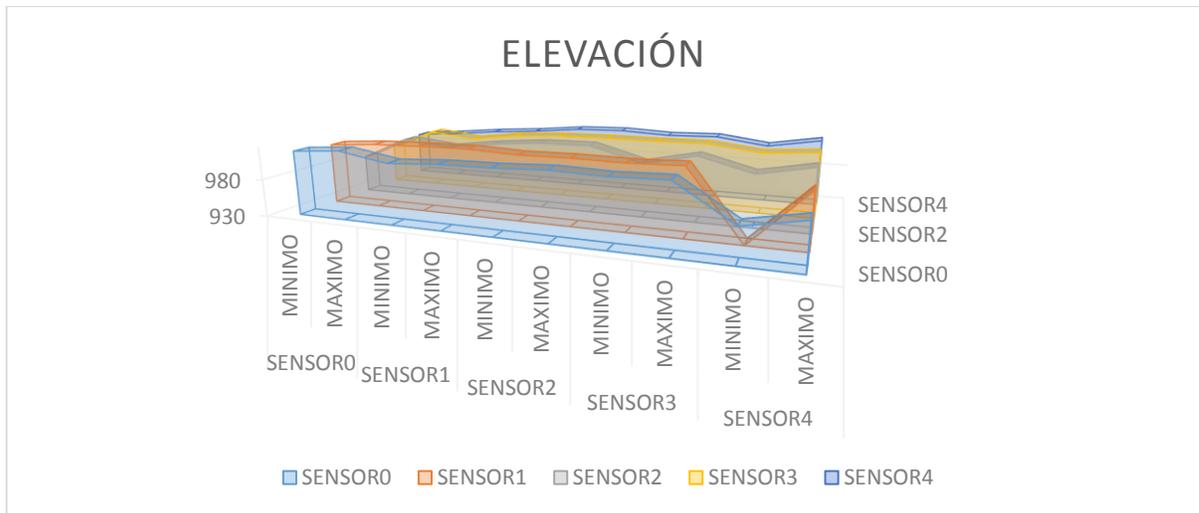
Con los ángulos definidos podemos obtener el valor máximo y mínimo de cada sensor, cuando el Sol apunta directamente en ellos. Es conveniente mencionar que los valores medidos por el microcontrolador van desde 0 hasta 2013 bits, siendo cero el menor valor y 1023 el mayor rango de bits medido.

ELEVACIÓN

	SENSOR0		SENSOR1		SENSOR2		SENSOR3		SENSOR4		
	MINIMO	MAXIMO	Angulo								
SENSOR0	1017	1022	1011	1015	1016	1019	1017	1019	975	989	26°
SENSOR1	1013	1018	1020	1021	1018	1019	1018	1020	930	1003	48°
SENSOR2	982	1013	1006	1015	1021	1022	1003	1018	1000	1014	90°
SENSOR3	985	1013	1006	1015	1019	1020	1020	1021	1013	1018	135°
SENSOR4	993	999	1006	1011	1018	1020	1017	1019	1010	1022	152°

Tabla 20. Valores sensados de elevación en bits.

En la parte izquierda de la tabla 19 tenemos los valores cuando el Sol les da iluminación directa a cada sensor y en la parte posterior tenemos el sensor con los valores máximos y mínimos medidos. Es importante mencionar que dichas mediciones se realizaron aproximadamente a las cinco de la tarde. Con los valores determinados podemos obtener la gráfica que nos describe el comportamiento.



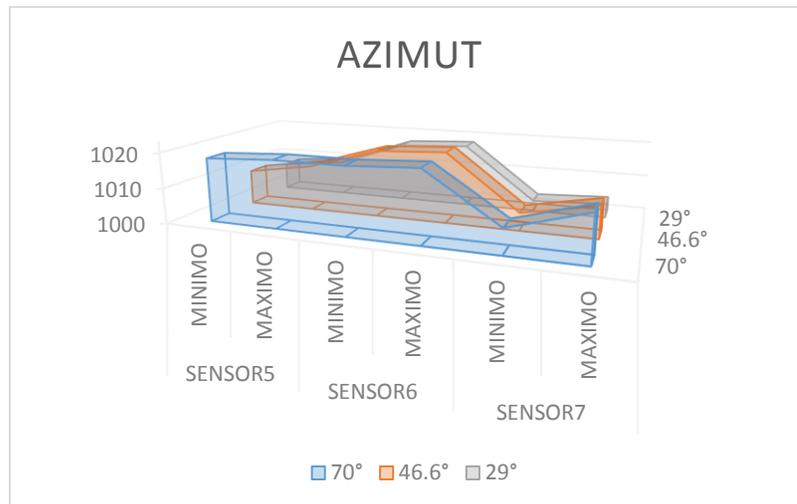
Gráfica 2. Valores sentidos de elevación.

Como se puede observar en la gráfica y en la tabla, conforme el Sol va apuntando a cada sensor, este eleva su valor casi llegando al máximo, mientras que los demás sensores llegan a tener valores un poco más bajo. Pero no ocurre en todas las ocasiones. Hay ocasiones en las que los dos sensores llegan a tener el mismo valor en un solo ángulo, como por ejemplo en la tabla de elevación, en los valores cuando el sensor0 tiene el máximo valor, en la medición del sensor dos y tres tiene casi los mismos valores. Esto se supone por la propiedad de la luz de reflexión y por la dispersión de la misma.

Los valores obtenidos por los sensores de azimut, se muestran en la siguiente tabla.

AZIMUT						
	SENSOR5		SENSOR6		SENSOR7	
	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO
70°	1018	1019	1019	1020	1007	1013
46.6°	1010	1013	1019	1020	1005	1009
29°	1008	1010	1017	1018	1003	1004

Tabla 21. Valores sentidos de azimut en bits.



Gráfica 3. Valores sentidos de azimut.

Los valores cambian muy poco en cada medición, pero lo suficiente para que los servomotores realicen el cambio.

Ahora corresponde seleccionar el lugar donde estará el sistema, medir la distancia que hay entre el sistema y el área de incidencia, así como también el ángulo que esta forma. El lugar definido es el laboratorio de ingeniería en sistemas automotrices, salón 2012. La distancia es de 8.35 metros y la altura del punto de incidencia es de 2.47 metros. El ángulo que se necesita se puede obtener por medio de la siguiente formula:

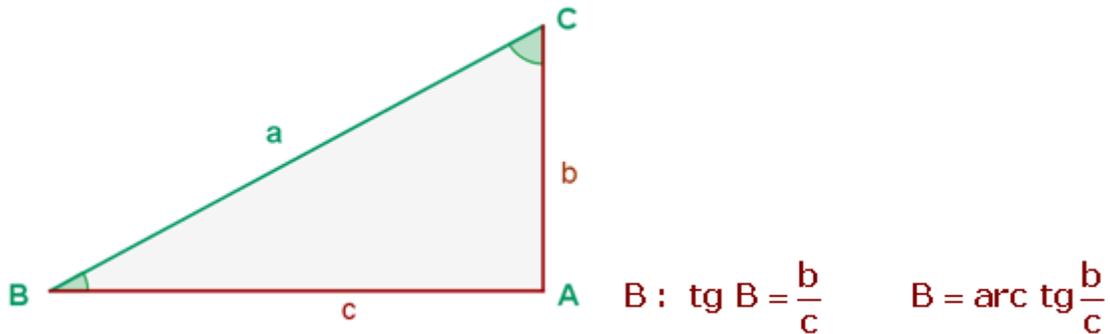


Figura 54. Fórmula para sacar el ángulo B. Fuente: vitutor.com.

Sustituyendo los valores tenemos:

$$B = \text{arc tg} \left(\frac{2.47}{8.35} \right) = 16.47^\circ$$

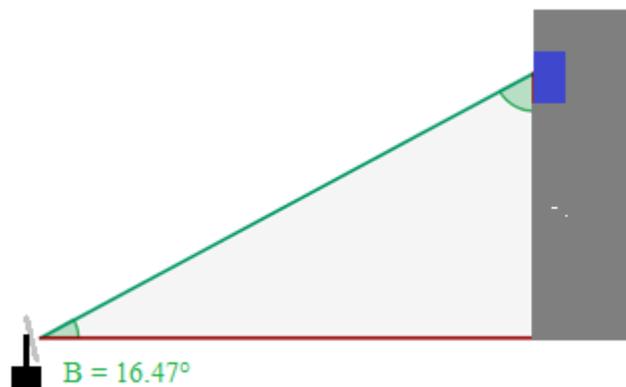


Figura 55. Ángulo de 16.47° definido

13.2. Algoritmo

Analizando las variables podemos observar que necesitamos un ángulo de salida para el punto de incidencia. Entonces, teniendo en cuenta los ángulos definidos debemos determinar un algoritmo para corregir el rayo solar horizontal y verticalmente.

Primero nos enfocaremos en el de elevación.

Por medio de la ley de Snell nos damos cuenta que el rayo reflejado tiene siempre el mismo ángulo con el que entra el rayo. Ahora bien, el ángulo que nosotros necesitamos reflejar hacia la ventana es de 16.47° . Suponiendo que el Sol se encuentra a 26° , incidiendo directamente en el sensor0, se tiene que corregir el rayo de tal forma que el reflejo incida en la ventana. El ángulo inicial en el que se encuentra el espejo es horizontal, con la cara mirando hacia el cielo a 90° , como se muestra en la siguiente figura.

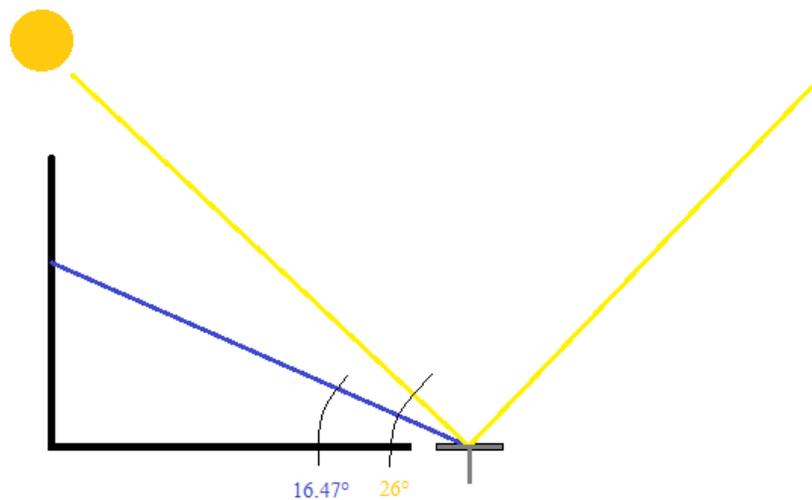


Figura 56. Representación del problema del ángulo de 26° .

Para determinar el ángulo nuevo, primero hay que restar el ángulo del Sol al ángulo de la ventana y se divide entre dos. El resultado de la división se suma al ángulo de la ventana y por último se le resta 90° . El resultado son los grados que el espejo se tiene que mover para cumplir para quedar exactamente en posición perpendicular al ángulo imaginario que se forma en medio del ángulo del Sol y el ángulo de la ventana. De esta forma se cumple con la ley de Snell.

$$angCorrec = \left(\left(\frac{angSol - angVen}{2} \right) + anVen \right) - 90^\circ$$

Con el nuevo algoritmo se determinan los ángulos a corregir de los demás sensores.

Para el azimut, el ángulo de referencia que se tomo es 90° hacia el punto de incidencia (la cara del espejo viento completamente de frente al punto de incidencia). Los sensores se colocan paralelamente de norte a sur. Se utiliza el mismo algoritmo pero simplificado, ya que el movimiento del Sol es más sutil (viéndolo desde el punto de vista de esta perspectiva).

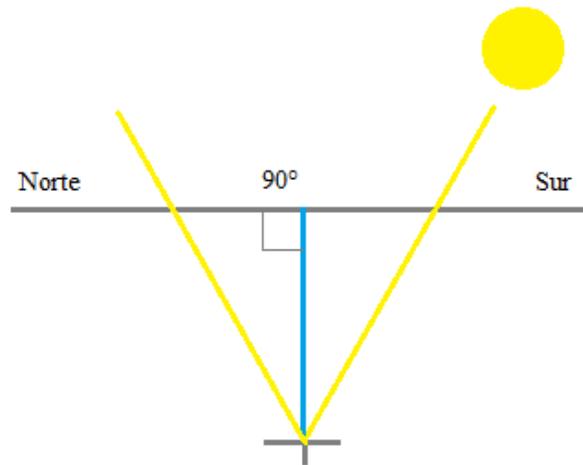


Figura 57. Vista aérea del reflejo del Sol en el punto inicial del sistema.

El algoritmo queda de la siguiente forma:

$$angCorrec = \left(\frac{angInicial - angSol}{2} \right)$$

Donde el ángulo inicial se toma de 90° y el ángulo del Sol es de las diferentes épocas del año.

13.3. Programación

La programación del dispositivo se realizó por medio del IDE “Energía” con el lenguaje de programación C.

13.3.1 Cabecera

Se utiliza el archivo Servo.h. En este archivo se definen los anchos de pulso con que el servomotor funciona. El ancho de pulso mínimo se cambia por un valor de 544 y el pulso máximo se cambia por 2400. De esta manera aseguramos que se tendrá una rotación de 0° a 180° precisos.

```
#ifndef Servo_H
#define Servo_H

#include <inttypes.h>

#define Servo_VERSION      2      // software version of this library

#define MIN_PULSE_WIDTH    544    // the shortest pulse sent to a servo [uS]
#define MAX_PULSE_WIDTH    2400   // the longest pulse sent to a servo [uS]
#define DEFAULT_PULSE_WIDTH 1500  // default pulse width when servo is attached
#define REFRESH_INTERVAL   20000  // servos refresh period in microseconds

#define MAX_SERVOS         8

#define INVALID_SERVO      255    // flag indicating an invalid servo index
```

Figura 58. Archivo Servo.h.

13.3.2. Cuerpo

```
#include <Servo.h>

float angVen = 16.5 ;

float angIniEle = 58;
float angIniAzi = 90;

float angEle = 0.0;
float angAzi = 0.0;
float correcl;
float correc2;

// Creación de los objetos Servo
Servo servoEle;
Servo servoAzi;

// Sensores de elevación
const int analogInPin0 = A0;
const int analogInPin1 = A1;
const int analogInPin2 = A2;
const int analogInPin3 = A3;
const int analogInPin4 = A4;

// Sensores de Azimut
const int analogInPin5 = A5;
const int analogInPin6 = A6;
const int analogInPin7 = A7;

// value read from the pot:
int sensorValue0 = 0;
int sensorValue1 = 0;
int sensorValue2 = 0;
int sensorValue3 = 0;
int sensorValue4 = 0;

int sensorValue5 = 0;
int sensorValue6 = 0;
int sensorValue7 = 0;

// Valores medidos de los sensores

// Elevación
int s0m[5]={1017, 1012, 982, 990, 995};
int s1m[5]={1015, 1020, 1006, 1005, 835};
int s2m[5]={1019, 1018, 1021, 1017, 1018};
int s3m[5]={870, 950, 1003, 1013, 1016};
int s4m[5]={90, 116, 97, 180, 726};
```

```

// Azimut
int s5m[5]={1018, 1010, 1018};
int s6m[5]={1019, 1019, 1017};
int s7m[5]={1007, 1005, 1003};

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  servoEle.attach(8);
  servoAzi.attach(9);
}

void loop() {

  leer();
  sensoresElevacion();
  sensoresAzimut();

  // print the results to the serial monitor:
  Serial.print(sensorValue0);
  Serial.print("\t");
  Serial.print(sensorValue1);
  Serial.print("\t");
  Serial.print(sensorValue2);
  Serial.print("\t");
  Serial.print(sensorValue3);
  Serial.print("\t");
  Serial.print(sensorValue4);
  Serial.print("\t");

  Serial.print(sensorValue5);
  Serial.print("\t");
  Serial.print(sensorValue6);
  Serial.print("\t");
  Serial.println(sensorValue7);

  delay(1000);
}

```

```

void leer(){

    sensorValue0 = analogRead(analogInPin0);
    sensorValue1 = analogRead(analogInPin1);
    sensorValue2 = analogRead(analogInPin2);
    sensorValue3 = analogRead(analogInPin3);
    sensorValue4 = analogRead(analogInPin4);

    sensorValue5 = analogRead(analogInPin5);
    sensorValue6 = analogRead(analogInPin6);
    sensorValue7 = analogRead(analogInPin7);
}

void sensoresElevacion(){
    //CALCULO DE ELEVACION

    // Primera entrada donde Sensor0 es mayor
    if(sensorValue0 >= S0m[0] &&
        sensorValue1 >= S1m[0] &&
        sensorValue2 >= S2m[0] &&
        sensorValue3 >= S3m[0] &&
        sensorValue4 >= S4m[0] ){
        angEle = (((26 - angVen) / 2 ) + angVen) - 90)*-1;
        correcl = angIniEle + angEle;
        servoEle.write(correcl);
        Serial.print(correcl);
        Serial.print("\n");
        Serial.print(angEle);
        Serial.print("\n");
    }

    // Segunda entrada donde Sensor1 es mayor
    else if(sensorValue0 >= S0m[1] &&
        sensorValue1 >= S1m[1] &&
        sensorValue2 >= S2m[1] &&
        sensorValue3 >= S3m[1] &&
        sensorValue4 >= S4m[1]){
        angEle = (((48 - angVen) / 2 ) + angVen) - 90)*-1;
        correcl = angIniEle + angEle;
        servoEle.write(correcl);
        Serial.print(correcl);
        Serial.print("\n");
        Serial.print(angEle);
        Serial.print("\n");
    }

    // tercera entrada donde Sensor2 es mayor
    else if(sensorValue0 >= S0m[2] &&

```

```

    sensorValue1 >= S1m[2] &&
    sensorValue2 >= S2m[2] &&
    sensorValue3 >= S3m[2] &&
    sensorValue4 >= S4m[2]){
        angEle = (((90 - angVen) / 2 ) + angVen) - 90)*-1;
        correcl = angIniEle + angEle;
        servoEle.write(correcl);
        Serial.print(correcl);
        Serial.print("\n");
        Serial.print(angEle);
        Serial.print("\n");
    }

// Cuarta entrada donde Sensor 3 es mayor
else if(sensorValue0 >= S0m[3] &&
    sensorValue1 >= S1m[3] &&
    sensorValue2 >= S2m[3] &&
    sensorValue3 >= S3m[3] &&
    sensorValue4 >= S4m[3]){
        angEle = (((135 - angVen) / 2 ) + angVen) - 90)*-1;
        correcl = angIniEle + angEle;
        servoEle.write(correcl);
        Serial.print(correcl);
        Serial.print("\n");
        Serial.print(angEle);
        Serial.print("\n");
    }

// Ultima entrada donde Sensor4 es mayor
else if(sensorValue0 >= S0m[4] &&
    sensorValue1 >= S1m[4] &&
    sensorValue2 >= S2m[4] &&
    sensorValue3 >= S3m[4] &&
    sensorValue4 >= S4m[0]){
        angEle = (((152 - angVen) / 2 ) + angVen) - 90)*-1;
        correcl = angIniEle + angEle;
        servoEle.write(correcl);
        Serial.print(correcl);
        Serial.print("\n");
        Serial.print(angEle);
        Serial.print("\n");
    }

// Regresa al angulo original
else{
    servoEle.write(angIniEle);
}
}

```

```

void sensoresAzimut(){

//Primera entrada 70° Primavera y Otoño
if(sensorValue5 >= S5m[0] &&
  sensorValue6 >= S6m[0] &&
  sensorValue7 >= S7m[0]){
  angAzi = ((angIniAzi - 70) / 2 );
  correc2 = angIniAzi - angAzi;
  servoAzi.write(correc2);
  Serial.print(correc2);
  Serial.print("\n");
  Serial.print(angEle);
  Serial.print("\n");

}

//Segunda entrada 46.6° Invierno
else if(sensorValue5 >= S5m[1] &&
  sensorValue6 >= S6m[1] &&
  sensorValue7 >= S7m[1]){
  angAzi = ((angIniAzi - 46.6) / 2 );
  correc2 = angIniAzi - angAzi;
  servoAzi.write(correc2);

  Serial.print(correc2);
  Serial.print("\n");
  Serial.print(angEle);
  Serial.print("\n");

}

//Tercera entrada 29° Verano
else if(sensorValue5 >= S5m[2] &&
  sensorValue6 >= S6m[2] &&
  sensorValue7 >= S7m[2]){
  angAzi = ((angIniAzi - 29) / 2 );
  correc2 = angIniAzi - angAzi;
  servoAzi.write(correc2);
  Serial.print(correc2);
  Serial.print("\n");
  Serial.print(angEle);
  Serial.print("\n");

}

else{
  servoAzi.write(angIniAzi);
}

}

```

Como se puede observar en el código, hay que definir un ángulo inicial a los servomotores (angIniEle y angIniAzi), esto con el fin de representarlo en la realidad, así podemos decir que angIniEle tiene 58° pero físicamente representa el ángulo 0° del espejo. También pasa lo mismo con angIniAzi pero en este caso la representación es la misma.

CAPÍTULO 14. PRUEBAS

La metodología de prototipo evolutivo nos permite hacer integraciones de los componentes y hacer pruebas paulatinas para observar el comportamiento del sistema y corregir errores. Integrando los elementos (sensores, PCB, servos) nos proponemos a realizar las pruebas. Como definimos en el capítulo de la programación, el área de incidencia se encuentra en el aula 2012 laboratorio de ingeniería en sistemas automotrices. El ángulo determinado es de 16.47° . El ángulo inicial medido del servo de elevación es de 58° y el de azimut es de 90° .

Se decidió simular el Sol con una lámpara. El sistema se alimenta de una fuente de alimentación de 5V que viene directamente del puerto USB de la computadora. Se mide la intensidad luminosa con los fotorresistores, y se ingresan esos nuevos valores en los arreglos unidimensionales de cada sensor de elevación y azimut.

```
// Elevación
int s0m[5]={1005, 820, 620, 725, 712};
int s1m[5]={968, 1016, 780, 802, 769};
int s2m[5]={1003, 1004, 1018, 1005, 1004};
int s3m[5]={730, 790, 790, 1016, 950};
int s4m[5]={3, 2, 2, 20, 100};

// Azimut
int s5m[5]={1016, 878, 820};
int s6m[5]={830, 1017, 870};
int s7m[5]={869, 883, 1016};
```

Figura 59. Valores para pruebas.

El propósito de la primera prueba es determinar si los ángulos corregidos por los servomotores son los correspondientes a cada ángulo que reciben los sensores. Para esto se tiene una tabla con los valores calculados manualmente con el algoritmo de elevación.

Ángulos de los servos de elevación	
Sensor0	68.75
Sensor1	57.75
Sensor2	36.75
Sensor3	14.25
Sensor4	5.75

Tabla 22. Ángulos de los servos de elevación.

Para efectos de practicidad, se definió que el Sensor5 tomara el valor de 70° , el Sensor6 el de 46.6° y el Sensor7 el de 29° . Los valores fueron calculados manualmente con el algoritmo de azimut.

Ángulos de los servos de azimut	
Sensor5	10
Sensor6	21.7
Sensor7	30.5

Tabla 23. Ángulos de los servos de azimut.

14.1. Prueba al Sensor0

Se coloca la luz directamente al Sensor0 y según la tabla se tiene que mover 68.75° . El valor que nos muestra el monitor serial se muestra en la siguiente figura.

1016	983	1017	925	12	6	5	5
68.75							
1012	977	1018	926	12	6	5	5
68.75							
1012	978	1016	926	11	6	5	2
68.75							
1010	977	1018	926	12	6	5	5
68.75							
1009	978	1017	928	11	6	5	5
68.75							
1009	976	1017	918	11	6	5	5
68.75							
1010	976	1016	922	12	5	5	5
992	978	1017	917	12	6	5	5
68.75							
1011	977	1015	915	11	6	5	5
68.75							
1011	978	1016	916	11	5	4	5
68.75							

Figura 60. Sensor0, monitor serial.

En la siguiente ilustración se observa como el espejo se posiciona a los 68° .

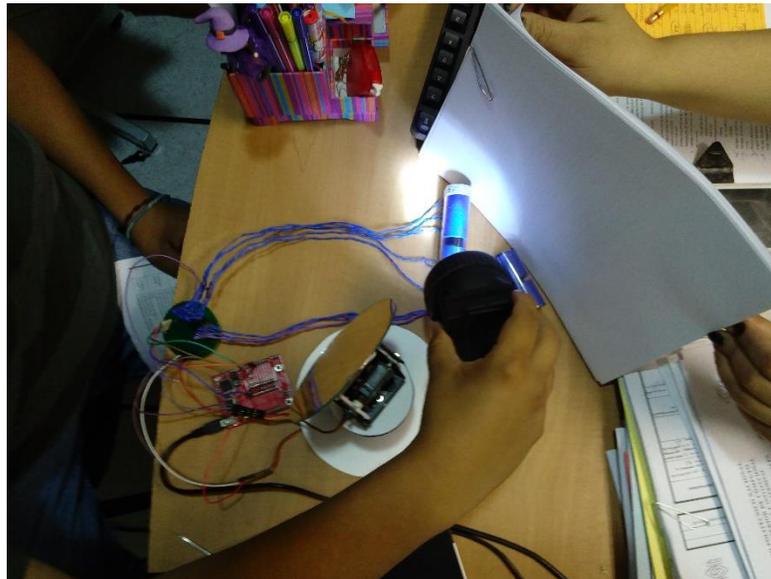


Ilustración 11. Prueba Sensor0

14.2. Prueba al Sensor1

Se coloca la luz directamente al Sensor1 y según la tabla se tiene que mover 57.75° . El valor que nos muestra el monitor serial se muestra en la siguiente figura.

909	1020	1017	948	16	6	5	5
57.75							
905	1018	1018	941	16	6	5	5
57.75							
900	1019	1017	949	15	6	5	5
57.75							
900	1019	1017	954	16	6	5	5
57.75							
896	1018	1018	953	16	6	5	5
57.75							
898	1019	1017	951	16	6	5	5
57.75							
894	1018	1016	953	17	6	5	5
57.75							
901	1019	1017	942	17	6	5	5
57.75							
900	1019	1017	946	16	3	5	5
57.75							
896	1020	1017	945	16	6	5	5
57.75							

Figura 61. Sensor1, monitor serial.

En la siguiente ilustración se observa como el espejo se posiciona a los 57° .



Ilustración 12. Prueba sensor1.

14.3. Prueba Sensor2

Se coloca la luz directamente al Sensor2 y según la tabla se tiene que mover 57.75° . El valor que nos muestra el monitor serial se muestra en la siguiente figura.

874	937	1021	943	15	6	5	5
36.75							
867	932	1020	938	14	6	5	5
36.75							
880	940	1021	947	14	5	5	5
36.75							
876	933	1022	939	13	6	5	5
878	936	1017	941	14	6	5	4
36.75							
879	939	1020	946	15	6	5	5
36.75							
880	940	1021	948	15	6	5	5
36.75							
889	946	1021	954	17	6	5	5
36.75							
880	939	1020	947	16	6	5	5
36.75							
895	951	1020	962	18	6	5	5
36.75							

Figura 62. Sensor2, monitor serial.

En la siguiente ilustración se observa como el espejo se posiciona a los 36° .

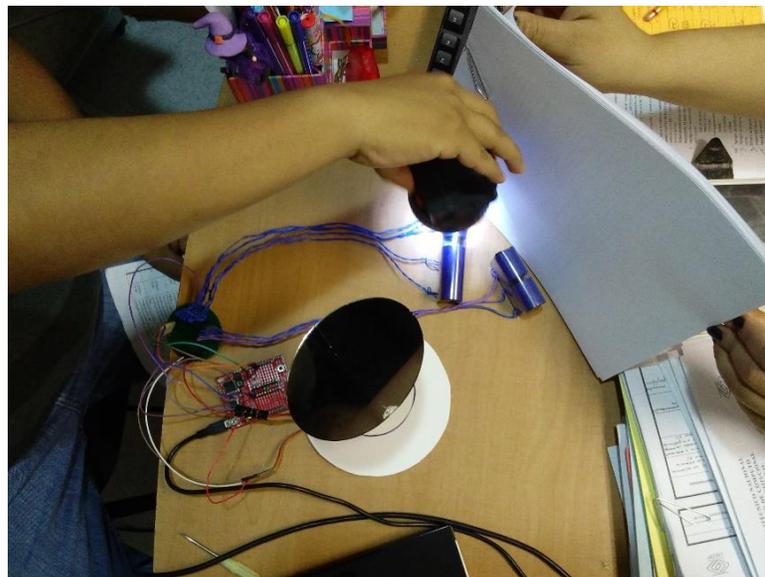


Ilustración 13. Prueba Sensor2.

14.4. Prueba Sensor3

Se coloca la luz directamente al Sensor3 y según la tabla se tiene que mover 14.25°. El valor que nos muestra el monitor serial se muestra en la siguiente figura.

814	928	1014	997	48	6	5	5
14.25							
851	926	1015	1018	35	6	5	5
14.25							
863	932	1014	1019	34	6	5	5
14.25							
865	933	1014	1020	35	5	5	5
14.25							
867	934	1014	1019	36	5	5	5
14.25							
867	934	1014	1018	37	6	5	5
14.25							
867	934	1014	1017	36	5	5	5
14.25							
868	935	1016	1020	34	6	5	5
14.25							
868	934	1014	1020	37	5	5	5
14.25							
867	934	1014	1019	36	6	5	5
14.25							

Figura 63. Sensor3, monitor serial.

En la siguiente ilustración se observa como el espejo se posiciona a los 14°.



Ilustración 14. Prueba Sensor3.

14.5. Prueba Sensor4

Se coloca la luz directamente al Sensor4 y según la tabla se tiene que mover 5.75° . El valor que nos muestra el monitor serial se muestra en la siguiente figura.

865	923	1012	970	100	6	5	5
5.75							
866	923	1014	972	104	6	6	5
5.75							
867	924	1015	973	104	6	5	5
5.75							
868	925	1016	973	104	6	5	5
5.75							
867	925	1015	973	105	6	5	5
5.75							
867	925	1016	974	111	6	5	5
5.75							
868	926	1016	974	111	7	5	5
5.75							
867	925	1015	973	111	6	5	5
5.75							
868	925	1015	975	112	7	5	5
5.75							
868	925	1015	974	112	6	5	5
5.75							

Figura 64. Sensor4, monitor serial.

En la siguiente ilustración se observa como el espejo se posiciona a los 5° .



Ilustración 15. Prueba Sensor4.

14.6. Prueba Sensor5

Se coloca la luz directamente al Sensor5, este ya corresponde a la primera medición de azimut. Según la tabla se tiene que mover 10° . El valor que nos muestra el monitor serial se muestra en la siguiente figura.

7	4	1023	18	6	1020	991	912
10.00							
7	4	1023	19	6	1020	990	909
10.00							
7	4	1023	18	6	1019	991	921
10.00							
7	4	1023	19	6	1019	990	921
10.00							
7	4	1023	19	6	1020	991	922
10.00							
7	4	1023	18	6	1020	991	921
10.00							
7	4	1023	19	6	1019	990	922
10.00							
7	4	1023	18	6	1020	991	923
10.00							
9	4	1023	18	6	1018	992	925
10.00							
7	4	1023	19	6	1020	992	925
10.00							

Figura 65. Sensor5, monitor serial.

En la siguiente ilustración se observa como el espejo se posiciona a los 10° .

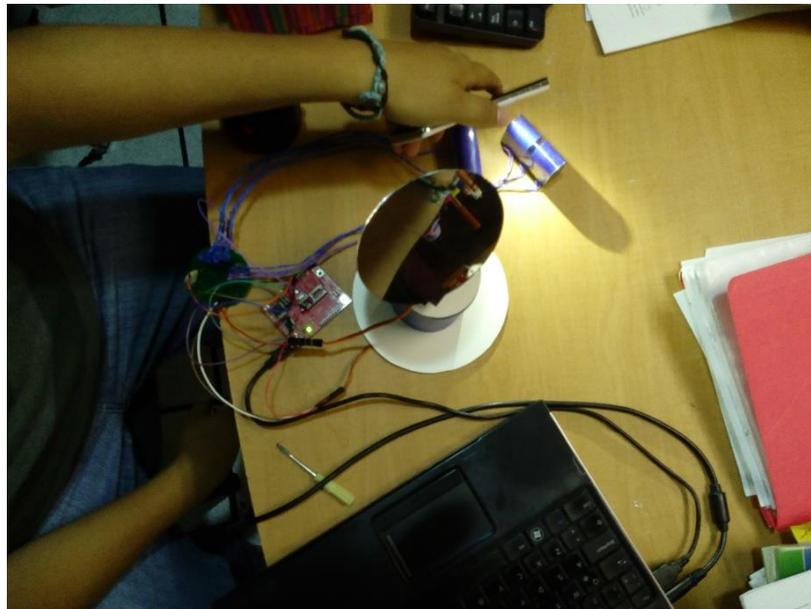


Ilustración 16. Prueba sensor5.

14.7. Prueba Sensor6

Se coloca la luz directamente al Sensor6, según la tabla se tiene que mover 21.7° . El valor que nos muestra el monitor serial se muestra en la siguiente figura.

7	4	1023	18	6	902	1019	894
21.70							
7	4	1023	18	6	906	1018	900
21.70							
6	5	1023	18	6	907	1019	900
21.70							
6	4	1023	18	6	905	1018	900
21.70							
6	4	1023	18	6	907	1018	902
21.70							
6	4	1023	18	6	904	1018	903
21.70							
6	4	1023	18	6	908	1019	902
21.70							
6	4	1023	18	6	910	1019	903
21.70							
6	4	1023	18	6	911	1020	904
21.70							
6	4	1023	18	6	910	1019	905
21.70							

Figura 66. Sensor6, monitor serial.

En la siguiente ilustración se observa como el espejo se posiciona a los 21.7° .

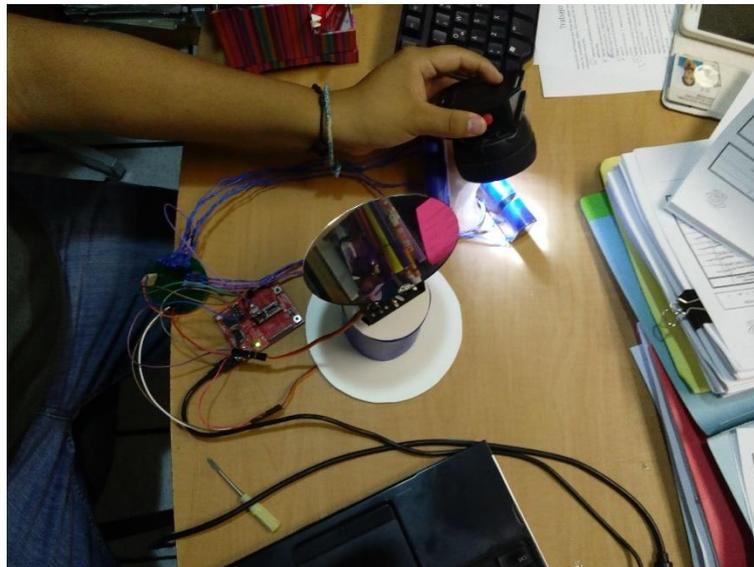


Ilustración 17. Prueba Sensor6.

14.8. Prueba Sensor7

Se coloca la luz directamente al Sensor7, según la tabla se tiene que mover 30.5° . El valor que nos muestra el monitor serial se muestra en la siguiente figura.

7	4	999	15	6	936	999	1019
30.50							
7	4	999	15	6	943	1000	1021
30.50							
5	4	998	15	6	944	1001	1020
30.50							
7	4	1001	15	6	944	1000	1019
30.50							
7	4	999	15	6	944	1000	1020
30.50							
7	4	999	15	6	943	1000	1020
30.50							
7	4	999	15	6	945	1000	1020
30.50							
7	4	1000	15	6	944	1000	1021
30.50							
7	4	996	15	6	945	1001	1021
30.50							
7	4	1001	15	6	945	999	1022
30.50							

Figura 67. Sensor7, monitor serial.

En la siguiente ilustración se observa como el espejo se posiciona a los 30.5° .

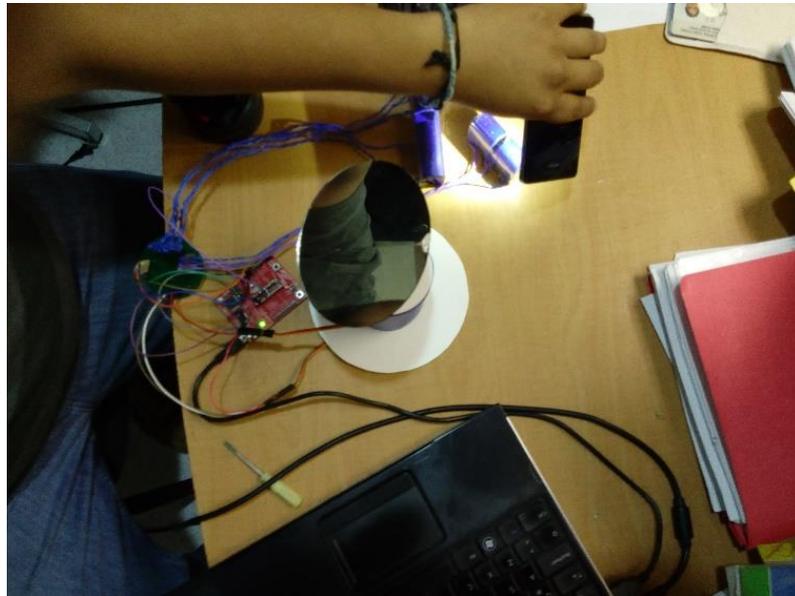


Ilustración 18. Prueba Sensor7.

CAPÍTULO 15. ESTUDIO ECONÓMICO

15.1. Objetivos del estudio económico

Este estudio en especial, comprende el monto de los recursos económicos necesarios que implica la realización del proyecto, así como la determinación del costo total.

15.2. Determinación el monto de inversión total del proyecto.

Esta tabla resume el cálculo del costo de una sola unidad del prototipo en cuanto a materiales solamente.

Concepto	Costo en pesos
estructura de aluminio	50
2 servomotores	400
paneles solares	100
acrilico paneles	50
espejo	10
sensores	4
sintra	40
esfera de protección	400
tornillos sin fin	15
tornillos base	1
tornillos panel	4
alambre y cable	50
placa fenólica	20
resistencias	2
microcontrolador	50
headers	5
soldadura	20
capacitores	30
	1251

Tabla 24. Costo del proyecto.

La siguiente tabla muestra el costo total del proyecto en cuanto a materiales y herramientas.

Descripción	Costo mensual
estructura de aluminio	50
2 servomotores	400
paneles solares	100
acrilico paneles	50
espejo	10
sensores	4
sintra	40
esfera de protección	400
tornillos sin fin	15
tornillos base	1
tornillos panel	4
alambre y cable	50
placa fenólica	20
resistencias	2
microcontrolador	50
headers	5
soldadura y pasta	40
soldadura liquida	150
capacitores	30
herramientas diseño pcb	9.593
herramienta creación pcb	400.000
mascara antisoldante	200
insoladora	2500
cautín	150
cuter	36
silicon sellador	60
taladro	400
base	
	414360

Tabla 25. Costo de proyecto con material y herramientas.

15.3. Tabla gastos de administración

En la siguiente tabla se realiza una descripción de los gastos de administración correspondientes a 1 año, tiempo en el que se inició y creó nuestro proyecto.

Descripción	Gastos Mensuales	Gastos totales (a un año)
Renta	7.000	84000
Luz	100	1200
Agua	150	1800
Teléfono	300	3600
Internet	300	3600
Papelería	1000	12000
Limpieza	2000	24000
Sueldos	15.000	360000
Depreciación Equipos	750	9000
Transporte	1500	18000
Inmobiliario	15000	15000
Total		532200

Tabla 26. Gastos administrativos.

15.4. Presupuesto de inversión total

La siguiente tabla resume el monto total inicial necesario para poner en marcha el proyecto.

Concepto	Monto
costo con materiales y herramientas	414360
gastos de administración	512280
Costo total del proyecto	926640

Tabla 27. Inversión total.

15.5. Ahorro de luz y dinero

Se estima que el proyecto va a tener un gran impacto en lo que refiere al consumo de electricidad dentro de la escuela, para realizar el breve estudio económico se consideraron diversas variables como lo es el lugar, el número de lámparas, el tipo de lámpara, el consumo promedio y los costos tanto unitarios como totales.

Lo anterior se puede ver reflejado en la tabla siguiente:

Lugar	No. De lámparas (aproximado)	Tipo de lámpara		Consumo por lámpara (kW)		Consumo total (kW)		Costo (Kw/h)	Costo total bimestral (\$)		Promedios de consumos		tiempo (hrs)	lamparas	Bimestral(días)
									valor 1	valor 2					
Salón	16 a 20	✓	✓			0.28 / 0.36	0.54 / 0.6	2,85	590,976	2511,65	0,144	0,612	12	2	60
Laboratorio	24 a 30	✓	✓	0,008	0,034	0.43 / 0.54	0.81 / 0.10		886,464	3767,47	0,216	0,918			
Otro	6 a 12	✓	✓			0.10 / 0.21	0.20 / 0.40		295,488	1255,82	0,072	0,306			
				16 y 20 lamparas	0,128	0,544		Tarifa5 Serv.							
				24 y 30 lamparas	0,192	0,816		Público 2.8 / 2.9							
				6 a 12 lamparas	0,048	0,204		\$ (De Enero y							
				16 y 20 lamparas	0,16	0,68									
				24 y 30 lamparas	0,24	1,02									
				6 y 12 lamparas	0,096	0,408									
(Consumo Total/2) * (Costo Kw/h) * (12 hrs) * (2 lamp) * (60 días).															

Tabla 28. Tabla de consumos y costos.

Led =

Tubo fluorescente =

Se tomó en cuenta 12hrs de uso mínimo por salón de clases, 10 hrs mínimo por laboratorio y 4hrs mínimo por talleres y almacenes pequeños.

Los costos por kW/h se tomaron de referencia de la página:

http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/Tarifas_industria.asp?Tarifa=CMAS&Anio=2015

Los cuales corresponden a un lapso de un año entero en 2015.

CAPÍTULO 16. CONCLUSIONES

Se definieron varios elementos que necesita el sistema para su funcionamiento tales como el algoritmo, la programación, la estructura, el PCB, etc. Cada uno de ellos contiene cierta complejidad. Por ejemplo la creación del PCB, desde el diseño hasta la fabricación, que al tener la necesidad de crear varias versiones con diferentes diseños para probar el que mejor se adapta a nuestros requerimientos. Y se definió el óptimo, utilizando el menor número de elementos electrónicos para no gastar energía demás. Aprendimos a usar dos métodos para crear las PCB. Una es por medio de carbonato de sodio y la otra es por medio de la máquina protoMat.

Se logró determinar un algoritmo para definir los ángulos que se tienen que corregir en los servomotores. Este apartado es el corazón y es de vital importancia ya que es la razón para que el sistema funcione. Lo interesante es que en la programación se definieron variables globales, estas funcionan de tal modo que cuando se desee cambiar el sistema a otra área, este se pueda programar de forma sencilla, sin tener que indagar a profundidad el código. El entender cómo se mueve la luz, los efectos que esta provoca, nos ayudó al momento de realizar el algoritmo.

Al momento de montar los fotorresistores y hacer las mediciones de luz, nos dimos cuenta que llegan a tener variaciones muy extrañas, y aunque con ellas se pudieron definir los ángulos para el movimiento del sistema, no es conveniente usarlas. En algunos casos el cambio era tan radical que se salía de rango de funcionamiento. Esto nos llevó a tener que delimitar el proyecto al solamente contar con pocos ángulos, pero se logró adaptar a la programación de tal forma que usando solamente el valor mínimo medido por los sensores como condición de entrada al algoritmo, se consiguió el movimiento correcto y preciso de los servomotores.

El utilizar celdas solares rotas y reutilizarlas en el proyecto es una idea innovadora, el costo de ellas es barato y soldarlas resultó ser bastante sencillo, tal vez el único inconveniente es que se tiene que recolectar bastantes de ellas para obtener un voltaje y amperaje aceptable para el proyecto y además que son demasiado frágiles. Ese fue uno de los inconvenientes, que no se logró recolectar energía suficiente, pero de haber puesto más celdas hubiera alcanzado el óptimo. En otro caso, colocando más capacitores, se puede obtener mayor almacenamiento de energía.

Si bien el proyecto nos puede ahorrar una gran cantidad de recursos económicos, el inicio puede ser un poco caro la financiación del mismo, aunque a la larga y tomando en cuenta que se requieren de varios prototipos para poder alcanzar el objetivo, puede resultar barato debido a que la producción en masa ahorraría una gran cantidad de recursos además de que aprovecha las herramientas necesarias para la creación de un mismo prototipo en los demás que puedan requerirse.

El haber realizado el proyecto paso por paso y analizado desde cero nos deja una grata sensación de aprendizaje. Finiquitar el sistema funcional en un área de prueba en un entorno natural requiere tiempo e indagar en una solución para calcular más ángulos, de tal forma que el sistema sea más exacto, más fino en la medición de ellos.

CAPÍTULO 17. TRABAJO A FUTURO

Como producto agregado, posiblemente en un futuro, se podrá incluir un módulo Bluetooth en el dispositivo para monitoreo y calibración de los sensores e incluso para medir la temperatura del ambiente.

También se podría crear un proyecto más completo y avanzado a través de barras o tubos de acrílico dentro de los salones de clases, ya que debido a los fenómenos de dispersión de la luz y la óptica de los materiales plásticos existentes la luz de día podría incidir sobre los bordes de los materiales y de ahí propagarse hasta llegar a zonas alejadas dentro de las aulas de clase, talleres y laboratorios, con eso se lograría que el proyecto no solo se limitara a iluminar las áreas en donde existe poca luz, sino que también podría utilizarse como un producto completo capaz de suplir durante una gran parte del día a todas las lámparas de un lugar.

Se ha determinado también que debido a que nuestro proyecto incluye celdas solares, se podría modificar a manera que funcionará como una estación de carga de dispositivos electrónicos como lo son celulares, computadoras e incluso podría ser posible alimentar los circuitos que los alumnos dentro de las escuelas utilizan en sus prácticas y demás experimentos aunque con la desventaja de que se necesitaría de la ayuda de una batería o un medio de almacenamiento de energía muy grande para tal fin.

Se cree incluso en un proyecto enorme en el cual la luz reflejada por el prototipo se pueda utilizar para alimentar a plantas que necesitan de los haces solares pero que solamente les es útil durante cierto tiempo como es el caso de la Euphorbia Pulcherrima o mejor conocida como flor de Nochebuena la cual necesita de ciertos cuidados como lo es brindarle mucha luz del Sol en la mañana y sombra en la tarde ya que en otro caso se deshidrata y esto propicia que su vida sea muy corta o muera, con el proyecto la ubicación de las plantas sería una en donde haya sombra, posteriormente se podría desviar la luz que incida sobre los espejos en cierto momento del día y reflejarla sobre las plantas pero durante cierto tiempo para después desviar la luz y continuar indefinidamente el proceso.

Una estufa solar también podría ser un trabajo a futuro que podría utilizarse en ciertos lugares como en campamentos, si tuviéramos varios dispositivos fijos y los espejos de estos apuntando en una misma dirección podríamos obtener una cocina económica y además amigable con el medio ambiente que no necesitaría de ningún combustible o energía eléctrica para funcionar.

GLOSARIO

A

acimut

Ángulo que forma el meridiano con el círculo vertical que pasa por un punto de la esfera celeste o del globo terráqueo.

algoritmo

Conjunto ordenado de operaciones sistemáticas que permite hacer un cálculo y hallar la solución de un tipo de problemas.

ánodo

Polo positivo de una pila eléctrica.

arquitectura Von Neumann

es una arquitectura de computadoras basada en la descrita en 1945 por el matemático y físico John von Neumann.

C

catodo

Polo negativo de una pila eléctrica.

centrales térmicas

instalación empleada en la generación de energía eléctrica a partir de la energía liberada en forma de calor,

centro geométrico

punto que se encuentra en medio de una figura geométrica.

consumo

Utilización o gasto.

Convertidor analógico-digital

es un dispositivo electrónico capaz de convertir una señal analógica de voltaje en una señal digital con un valor binario.

CPU

es la parte central de toda computadora ya que es la

que cumple la tarea de procesamiento de todas las funciones así como también de almacenamiento de la información.

D

deslumbramiento

Pérdida momentánea de la visión producida por una luz o un resplandor muy intensos.

dualidad onda-partícula

es el hecho de que un electrón cuando realizamos un experimento para ver su naturaleza como partícula (onda) se comporte como una partícula (onda).

E

EAGLE

Programa para creación de circuitos impresos.

elevación

el ángulo entre la dirección del Sol y el horizonte ideal.

energía eléctrica

forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos

eólica

Que está producido o accionado por el viento.

equinoccio

Momento del año en que el Sol forma un eje perpendicular con el ecuador y en que la duración del día es igual a la de la noche en toda la Tierra.

espectro electromagnético

distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas.

F

factor

Elemento, circunstancia, influencia, que contribuye a producir un resultado.

fósiles

son cualquier huella o vestigio de plantas o animales que vivieron en el pasado prehistórico.

fotones

partícula elemental responsable de las manifestaciones cuánticas del fenómeno electromagnético.

fototropismo

Movimiento de ciertos organismos como respuesta al estímulo de la luz.

G

geotérmica

que puede obtenerse mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra.

H

heliotropismo

Movimiento de una planta o un vegetal que consiste en reaccionar al estímulo producido por la luz del Sol orientando las hojas, los tallos o las flores hacia él.

hidroeléctrica

utiliza energía hidráulica para la generación de energía eléctrica.

hipersensibilidad

fotosensible

respuesta exagerada a la luz, generalmente luz solar, que se manifiesta minutos, horas o días después de la exposición y puede persistir durante un tiempo variable.

I

infrarroja

radiación electromagnética y térmica, de mayor longitud de onda que la luz visible, pero menor que la de las microondas.

L

laminadora industrial

Maquina que se utiliza para pegar una lámina de material plástico a un circuito impreso.

LDR

es un componente electrónico cuya resistencia varia en función de la luz.

linfocitos

células circulantes del sistema inmunitario que reaccionan frente a materiales extraños y son de alta jerarquía en el sistema inmunitario.

luminiscente

Que emite rayos luminosos muy débiles sin elevar la temperatura.

luxómetro

instrumento de medición que permite medir simple y rápidamente la iluminancia real y no subjetiva de un ambiente.

luz ultravioleta

radiación electromagnética cuya longitud de onda está comprendida aproximadamente entre los 400 nm y los 15 nm.

M

mareomotriz

que se obtiene aprovechando las mareas.

máscara antisoldante

es un elemento que brinda al PCB una protección contra agentes externos que favorecen la corrosión, además de lograr que adquiera una terminación destacada y elegante.

melatonina

hormona que ayuda a definir los ciclos de sueño.

Metodología

Conjunto de métodos que se siguen en una investigación científica, un estudio o una exposición doctrinal.

Microcontroladores

circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria

micrómetros

unidad de longitud equivalente a una millonésima parte de un metro.

momento angular

intrínseco

magnitud física importante en todas las teorías físicas de la mecánica, desde la mecánica clásica a la mecánica cuántica, pasando por la mecánica relativista.

monitor serial

Pantalla que permite visualizar medidas analogicas.

monocristalino

Los paneles monocristalinos se fabrican a partir de rebanadas finas cortadas de un solo cristal de silicio.

N

neutrófilos

glóbulos blancos.

O

ondas

perturbación que se propaga desde el punto en que se produjo hacia el medio que rodea ese punto.

óptima

Que es extraordinariamente bueno o el mejor, especialmente en lo que se refiere a las condiciones o características de una cosa, por lo cual resulta muy difícil o imposible encontrar algo más adecuado.

oscilador de cristal

es aquel oscilador que incluye en

su realimentación un resonador piezoeléctrico.

P

parcial

Que no está completo o acabado.

partículas

Cuerpo material de pequeñas dimensiones constituyente de la materia.

PCB

Placa de circuito impreso .

perpendicular

son dos o más líneas que se intersectan con un ángulo de 90 grados.

pinos

Terminales o patas de un circuito integrado.

policristalino

material que consiste en pequeños cristales de silicio.

prototipo

Primer ejemplar de alguna cosa que se toma como modelo para crear otros de la misma clase .

provitamina

sustancia que puede y tiene que ser transformada en el cuerpo por el propio metabolismo o factores externos en la vitamina para ser aprovechada.

puntero de pila

registro de un CPU de computadora cuyo propósito es mantener la pista de la posición actual de la pila de llamadas.

puntos focales

focal es el centro de interés o actividad en un trabajo.

R

radioactivos

fenómeno físico por el cual los núcleos de algunos elementos químicos, llamados radiactivos, emiten radiaciones.

recta normal

recta perpendicular a la

tangente en dicho punto. - 40

Reflexión

cambio de dirección de una onda, que al entrar en contacto con la superficie de separación entre dos medios cambiantes, regresa al punto donde se originó.

refracción

cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio material a otro.

reloj biológico

Mecanismo interno de los seres vivos que controla sus ritmos biológicos.

RISC

es un tipo de diseño de CPU generalmente utilizado en microprocesadores o microcontroladores con las siguientes características fundamentales.

S

serotonina

es una sustancia química producida por el cuerpo humano, que funciona como un neurotransmisor.

servomotores

dispositivo similar a un motor de corriente continua que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición.

sistemas

objeto complejo cuyos componentes se relacionan con al menos algún otro componente.

solsticio

Momento del año en que el Sol, en su movimiento aparente, pasa por uno de los puntos de la eclíptica más alejados del ecuador y en el que se da la máxima diferencia de duración entre el día y la noche.

sustentabilidad económica

describe las formas de negocio que garantizan un bienestar duradero y sólido a través de

un crecimiento económico continuo y estable. El objetivo ésta, es la consideración y conciliación equilibrada del éxito económico, de la compatibilidad social y del trato cuidadoso de los recursos naturales.

T

tropismo

Tendencia de un organismo a reaccionar de una manera definida a los estímulos exteriores, especialmente la que experimentan en su crecimiento los órganos vegetales.

V

vector

magnitud física definida por un punto del espacio donde se mide dicha magnitud.

REFERENCIAS

- [1] Wikipedia, the free encyclopedia. Internet: http://en.wikipedia.org/wiki/Renewable_energy.
- [2] Danilo Quintero “Porque es tan costosa la energía eléctrica”. Internet: <http://www.voltairenet.org/article124364.html>, 2005.
- [3] Paco Heras Hernández “Cuánto contamina la electricidad que consumimos”. Internet: <http://hogares-verdes.blogspot.mx/2012/08/cuanto-contamina-la-electricidad-que.html>.
- [4] Ojo Científico. “¿Por qué los girasoles giran?”. Internet: <http://www.ojocientifico.com/4013/por-que-los-girasoles-giran>.
- [5] Green Building Advisor “Fiber Optics for Day lighting”. Internet: <http://www.greenbuildingadvisor.com/blogs/dept/energy-solutions/fiber-optics-daylighting>,
- [6] European Commission “Efectos de la luz artificial sobre la salud”. Internet: http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/artificial-light/es/index.htm, 1 Enero 2012.
- [7] María de Lourdes Gutiérrez Mandujano, “Es posible la optimización de la luz natural en el interior de las aulas tipo CAPFCE del Campus de la Universidad de Colima, por medio de sistemas pasivos e iluminación”. Internet: http://digeset.uco.mx/tesis_posgrado/Pdf/Maria_de_Lourdes_Gutierrez_Mandujano.pdf.
- [8] CEAC. “Energía solar”, Lluís Jutlar, Ediciones CEAC 2014, Barcelona España.
- [9] SAIKU. Daniel Lumera, “10 beneficios del Sol en la salud” Internet: http://www.eltiempo.com/vida-de-hoy/salud/ARTICULO-WEB-NEW_NOTA_INTERIOR-11568443.html, 14 Abril 2012.
- [10] UNAM. “Metodologías y procesos del análisis de software” Internet: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/175/A5%20Cap%C3%ADtulo%202.pdf?sequence=5>, 2010
- [11] Estufa urbana de concentración solar alternativa energética limpia sustentable. CINVESTAV, ESIME e Instituto de Ciencia y Tecnología del DF.
- [12] Gaceta politécnica No. 874, vol. 13. Crean alumnos auto que opera con paneles solares. 2 Agosto 2011.
- [13] Gaceta politécnica No. 988, vol. 15. Genera sistema fototérmico para aprovechar radiación solar. 19 Febrero 2013.
- [14] MSP-EXP430G2 LaunchPad Evaluation Kit, User’s Guide. Julio 2010.
- [15] MSP430G2553 Family, User’s Guide. Diciembre 2004.
- [16] Neural and fuzzy logic control of drives and power systems. M.N. Cirstea, A. Dinu, J.G. Khor, M. McCormick. Editorial Newnes, 2002.

- [17] Wikipedia, the free encyclopedia. Internet:
<http://es.wikipedia.org/wiki/Xochicalco>.
- [18] ASTRONOMÍA Y DESARROLLO DE LAS CIENCIAS EN EL MÉXICO PREHISPÁNICO. Internet:
http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/04/html/sec_7.html.
- [19] Sun Earth Tools. Internet:
http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es#annual.
- [20] Wikipedia, the free encyclopedia. Internet:
http://es.wikipedia.org/wiki/Estaciones_del_a%C3%B1o.
- [21] Los movimientos del sol en el cielo. El concepto de ecuador celeste y eclíptica. Internet:
<http://astrogea.org/coordenada/ficha3.html>.
- [22] Movimiento aparente del Sol. Internet:
<http://personales.unican.es/gonzalmi/ssolar/articulos/movapsol.html>.
- [23] Nuevo Concentrador Solar Desarrollado por la UNAM. Internet:
<http://www.dforcesolar.com/energia-solar/nuevo-concentrador-solar-desarrollado-por-la-unam/>.
- [24] Trabajos terminales de la ESCOM. Internet: <http://fgalindosoria.com/ligas/tt/>.
- [25] Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008. Condiciones de iluminación en los centros de trabajo. Internet: http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5076393.
- [26] Servomotores. Internet: <http://www.monografias.com/trabajos60/servo-motores/servo-motores.shtml>.
- [27] Luz. Internet: http://es.wikipedia.org/wiki/Luz#Teor.C3.ADa_ondulatoria.
- [28] Célula fotoeléctrica. Internet:
http://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula_fotoel%C3%A9ctrica.
- [29] Celdas fotovoltaicas. Internet: <http://celdasfotovoltaicas.blogspot.mx/>.
- [30] Ecuación de Dirac. Internet: http://es.wikipedia.org/wiki/Ecuaci%C3%B3n_de_Dirac.
- [31] Instituto Nacional de Ecología. Internet:
<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/438/cap5.html>.
- [32] Iniciadores: principios y ejemplos. Internet:
<http://www.textoscientificos.com/polimeros/polimerizacion-emulsion/iniciadores>.
- [33] Mundo solar. Internet: <http://www.dforcesolar.com/energia-solar/cuanto-dura-un-panel-solar/>.
- [34] La física de la óptica. Autores: Karen Betancour, Melisa Baena. Internet:

<http://fisicaoptica11.blogspot.mx/2010/11/reflexion-y-refraccion.html>.

[35] Física 2°B. Autor: Liceo Augusto D´Halmar. Internet:
<http://fisicadhalmar.blogspot.mx/2012/04/reflexion-de-la-luz-y-sus-leyes.html>.

[36] Prototipado Evolutivo. Internet:
<http://requisitosdesoftware.wikispaces.com/D.+Prototipado+Evolutivo>.