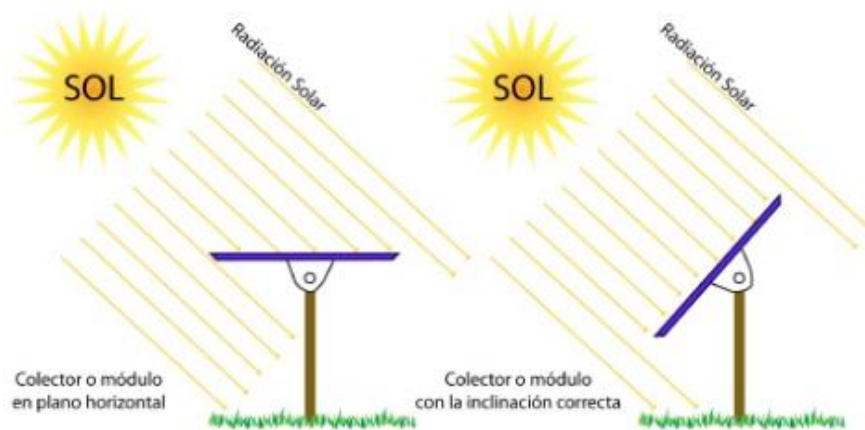


COORDINACIÓN DE RIEGO Y DRENAJE

SUBCOORDINACIÓN DE CONSERVACIÓN DE CUENCAS Y SERVICIOS AMBIENTALES



ENERGÍA RENOVABLE PARA EL DESARROLLO HIDROAGRÍCOLA EN MICROCUENCAS DEL SECTOR RURAL.

INFORME FINAL Proyecto RD-1504.1

Participantes:
Dr. José Javier Ramírez Luna
Ulises Dehesa Carrasco

Diciembre 2015

Resumen ejecutivo	7
Introducción	9
Capítulo I. Revisión del estado del arte sobre la aplicación de energía renovable para el desarrollo rural	11
Capítulo II. Realización del anteproyecto para el desarrollo de un área experimental con tecnología renovable	15
II.1 Bases de la energía renovable	15
II.2 Energía Solar	17
II.3 Energía Hidráulica.....	18
II.4 Energía Eólica.....	19
II.5 Equipo con fines de experimentación.....	20
II.5.1 Tornillo de Arquímedes	20
II.6 Diseño Estructural.....	31
II.7 Paneles Solares	31
II.7.1 Tipos de Paneles Solares.....	31
II.7.2 Orientación e Inclinación de los Paneles.....	34
II.7.3 Distancia entre Paneles.....	38
II.7.4 Eficiencia de las Células	39
II.8 Aerogeneradores.....	40
II.8.1 Partes de un Aerogenerador	40
II.8.2 Potencia de un aerogenerador.....	41
II.9 Sistema de riego a base de energía fotovoltaica.....	43
II.9.1 Diseño agronómico	43
II.9.2 Diseño Hidráulico	46
II.9.3 Diseño Energético.....	50
II.9.4 Selección de módulos solares	51
II.9.5 Pruebas eléctricas de los módulos fotovoltaicos	53
II.9.6 Agricultura Vertical bajo Leds.....	54
II.9.6.1 Luz en las plantas	56
II.9.6.3 Primeras ideas generales del diseño.....	63
II.9.4 Propuesta de oficinas para la operación del laboratorio	67

II.9.4.1 Diseño Arquitectónico	67
II.9.5 Diseño Estructural	69
II.9.5.1 Losa Monolítica.....	69
II.9.6.2 Vigas.....	72
II.9.6.3 Columnas	73
II.9.7 Vista general y detalles del laboratorio.....	74
Capítulo III. Diseño y proyecto ejecutivo de una parcela agrícola experimental abastecida con energía solar en las instalaciones del IMTA.....	77
III.1 Diseño Agronómico	77
III.1.1 Cálculo de requerimiento de riego.....	77
III.2 Diseño Hidráulico.....	80
III.3 Diseño Energético	83
III.3.1 Principio fotoeléctrico.....	83
III.3.2 Selección de módulos solares	84
III.3.3 Especificaciones Técnicas Generales	88
III.3.4 CATALOGO DE CONCEPTOS	101
Capítulo IV. Artículo para revista arbitrada sobre sistemas de desalación de agua para riego abastecido con energía solar.....	102
IV.1 Tecnologías para tratamiento de agua salobre	104
IV.2 Sistema integrado de estanque solar e invernadero.....	105
IV.3 Irrigación por condensación	109
IV.4 Sistemas de colectores solares conectados a invernaderos	111
IV.5 Sistemas desalinización mediante membranas.....	112
Capítulo V. Anexos.....	113

Ilustración 1. Pantalla del procesamiento de la información recopilada en carpetas de archivo. ...	11
Ilustración 2. Pantalla de Clasificación de documentos analizados	13
Ilustración 3. Tornillo de Arquímedes	21
Ilustración 4. Dimensiones propuestas por el fabricante.	24
Ilustración 5. Relaciones óptimas del tornillo de Arquímedes para diferentes números de hélices:	25
Ilustración 6. Dimensiones básicas del tornillo de Arquímedes.	26
Ilustración 7. Valores del diseño geométrico de la turbina de Arquímedes.....	28
Ilustración 8. Dimensiones del tornillo.	29
Ilustración 9. Curva de eficiencia con respecto al volumen de agua.	30
Ilustración 10. Modulo compuesto por células de silicio monocristalino.....	32
Ilustración 11. Módulo formado por células de silicio policristalino.	32
Ilustración 12. Paneles solares de 250 watts de potencia.	33
Ilustración 13. Dimensiones de los Módulos Solares LDK-240D-20.....	34
Ilustración 14. Orientación e inclinación de los módulos.	35
Ilustración 15. Inclinacion correcta de los paneles solares.....	36
Ilustración 16. Estructura de soporte con 20 grados de inclinación.	37
Ilustración 17. Disposición vertical de los paneles solares.	37
Ilustración 18. Disposición horizontal de los paneles solares.....	38
Ilustración 19. Variables que intervienen en la generación de sombras.	38
Ilustración 20. Esquema de la corriente en función de la tensión que aparece en la célula.....	39
Ilustración 21. Partes más comunes de un aerogenerador.	41
Ilustración 22. Curva de potencia en función de la velocidad del viento.	42
Ilustración 23. Datos climatológicos del observatorio de Cuernavaca.	43
Ilustración 24. Esquema del sistema de riego con energía fotovoltaica.....	48
Ilustración 25. Acercamiento del Crucero de seccionamiento.	49
Ilustración 26. Esquema de Localización del sistema de riego en el laboratorio de energías renovables.....	49
Ilustración 27. Curva de potencia para la bomba a utilizar.....	50
Ilustración 28. Dimensiones de los Módulos Solares LDK-240D-20.....	51
Ilustración 29. Apariencia del módulo solar LDK-240D-20, con soporte metálico.	52
Ilustración 30. Características eléctricas de los Módulos Solares LDK-240W-20.....	52
Ilustración 31. Curva intensidad (I) vs voltaje (V) otorgada por el fabricante.	53
Ilustración 32. Curva de rendimiento del panel solar.	54
Ilustración 33. Área destinada para la realización del Laboratorio de Energía Renovable.....	62
Ilustración 34. Propuesta 1.	63
Ilustración 35. Propuesta 2.	64
Ilustración 36. Propuesta 3.	64
Ilustración 37. Laboratorio de Agricultura Vertical.....	65
Ilustración 38. Prototipo 1.	65

Ilustración 39. Prototipo 2.	66
Ilustración 40. Prototipo 3.	66
Ilustración 41. Vista general de las oficinas.	67
Ilustración 42. Secciones de las 4 oficinas.....	68
Ilustración 43. Distribuciones típicas de un tablero en una losa.	70
Ilustración 44. Tableros que conforman el edificio.....	70
Ilustración 45. Detalle del doblado de la varilla en la losa.....	72
Ilustración 46. Vista frontal del laboratorio de energías renovables.....	76
Ilustración 47. Vista trasera del laboratorio de energías renovables.	76
Ilustración 48. Esquemas de la creación de un campo eléctrico permanente, a través de una PN, entre dos capas dopadas respectivamente de, (huecos) electrones positivos (P) y electrones con carga negativa (N) donde el material permanece eléctricamente neutro.....	84
Ilustración 49. Vista frontal y trasera de los Módulos Solares LDK-240D-20.....	85
Ilustración 50. Curva intensidad (I) vs voltaje (V) otorgada por el fabricante.	86
Ilustración 51. Pruebas eléctricas individuales, estas pruebas se realizaron de forma individual para cada Módulo solar LDK-240D-20.....	87
Ilustración 52 . Sección transversal de un sistema de efecto invernadero para operar en zonas desérticas diseñada por ITG en 1987 en la Universidad de Adana, Turquía.....	106
Ilustración 53. Principio del sistema de efecto invernadero integrado. En la parte superior ocurre la desalinización y en la parte inferior se ubica el cultivo.....	107
Ilustración 54. Esquema de un novedoso sistema húmedo aire-colector solar para la horticultura de invernadero.	108
Ilustración 55. Esquema de un sistema de riego por condensación. El aire ambiente se calienta y humidifica el interior de destiladores solares y conduce por medio de tuberías enterradas, donde se enfría y deshumidifica.	109
Ilustración 56. Sección de tubos de drenaje enterrados en un campo. El calor, el agua condensada y el flujo de aire húmedo través de las perforaciones de tuberías en el suelo. Los diámetros D del tubo, profundidad d, y el espaciamiento cc.....	110

Tabla 1. Ventajas y desventajas de las energías renovables no renovables.	16
Tabla 2. Datos climatológicos de la estación Cuernavaca.....	43
Tabla 3. Precipitación efectiva calculada.	44
Tabla 4. Datos de Evapotranspiración y Requerimiento de Riego.....	44
Tabla 5. Selección de Diámetro.....	47
Tabla 6. Datos climatológico usados para calcular la Eto.	77
Tabla 7. Cálculo del requerimiento de riego se calculó la precipitación efectiva.	78
Tabla 8. Calculo del requerimiento del riego.....	78
Tabla 9. Principios de separación en la desalinización.....	104
Tabla 11. Sistema combinado estanque solar-invernadero (adaptado de [5])	108
Tabla 12. Sistema combinado estanque solar-invernadero.....	111

Resumen ejecutivo

Falta de infraestructura hidroagrícola, deficiente distribución del agua de riego disponible, mala calidad del agua o la falta de suministro de energía eléctrica en el lugar requerido, son algunos de los principales factores que demeritan o limitan la productividad agrícola de riego, incluida la falta de tecnología adecuada. Ante este panorama poco alentador, una de las alternativas que busca impulsar el uso de fuentes alternas de energía con uso en riego agrícola en microcuencas, es la utilización de energías renovables como la solar o la eólica. En este contexto la Subcoordinación de Conservación de Cuencas y Servicios Ambientales del IMTA, ha desarrollado algunos proyectos donde se potencializó el uso de energía solar como fuente de potencia hidráulica. Definiendo una línea de investigación y desarrollo de tecnología propia.

Como principales puntos de atención contemplados en el presente proyecto se tienen:

1. Estado del arte (documento) sobre la aplicabilidad del uso de la energía renovable para el desarrollo rural.

Con respecto a la revisión bibliográfica, se revisaron un total de 116 archivos entre los que se encontraron cuatro repetidos. Se analizaron finalmente 112 archivos de los cuales 97 son artículos científicos, 8 publicaciones diversas (informes, expedientes de consulta de expertos, publicaciones técnicas), dos tesis doctorales, una tesis de licenciatura, una presentación de diapositivas, un abstract de artículo científico, un folleto de carácter comercial y un resumen ejecutivo de un estudio.

2. Anteproyecto para el desarrollo de un área experimental con tecnología renovable para la producción de alimentos en el medio rural.

Se realizó una propuesta de diseño arquitectónico y estructural de oficinas para la operación del laboratorio de energías renovables.

Se concluyó el anteproyecto para el diseño de una parcela experimental (de aproximadamente 1/4 de hectárea) el cual incluye: Diseño geométrico y estructural de turbina de Arquímedes, diseño de estructura para paneles solares, uso de aerogeneradores y se realizó el diseño hidráulico, agronómico y energético del sistema de riego impulsado con energía fotovoltaica.

3. Diseño y proyecto ejecutivo de una parcela agrícola experimental abastecida con energía solar en las instalaciones del IMTA.

También se diseñó y proyectó ejecutivamente una parcela agrícola experimental (aproximadamente 1 hectárea) abastecida con energía solar en las instalaciones del IMTA, que incluye: Diseño agronómico, hidráulico, energético y las especificaciones técnicas generales con respecto a la adaptación de la misma.

4. Artículo para revista arbitrada sobre sistemas de desalación de agua para riego abastecido con energía solar.

Se Realizó un artículo intitulado: "Experimental evaluation of a low pressure desalination system (NF_PV) without a batteries support for application on sustainable agriculture in rural areas" con el objetivo de mostrar un panorama de manera general, del uso de diversas tecnologías solares empleadas en la desalinización de agua cuya aplicación está destinada a la irrigación de cultivos agrícolas.

Introducción

En una visión antropo-centrista, los recursos naturales están a disposición de la satisfacción de las necesidades humanas, mientras que en una visión eco-sistémica se desea equilibrar dichas relaciones entre las comunidades de seres vivos cuyos procesos vitales interactúan y se desarrollan en función de factores físicos de un mismo ambiente.

Las condiciones económicas del México de los años 60 al periodo reciente han sido difíciles para la población. De tal manera que un 60% de la misma vive en condiciones de pobreza. De ésta la más extrema se localiza en las zonas rurales, en muchas micro-cuencas del país; por lo que prevalece la visión antropo-centrista en lugar de la eco-sistémica. La situación anterior, junto con la política agrícola de estado que buscó beneficiar tecnificando fuertemente los Distritos y Unidades de riego, provocó un detrimento de los recursos naturales en las micro-cuencas, afectando su ordenamiento productivo, minimizando su potencial micro-climático y por ende agrícola, constituyendo, un impase en el desarrollo económico rural. Por ejemplo, zonas ampliamente desarrolladas por usuarios y productores como la zona aguacatera del estado de Michoacán, tienen una réplica minoritaria en otros estados de la república. Sin embargo este potencial agrícola de alta, media y baja montaña es vasto en nuestro país y en términos de cultivos deben existir zona de manzana, nogal, aguacate, nogal australiano, cítricos, mangos, piña, cafés, tés, hule, stevia, palma de aceite, por mencionar algunos cultivos mucho más rentables que granos y forrajes. Aunado a esto, explotar los cultivos hortícolas en ciclos de Otoño-Invierno en partes bajas y Primavera-Verano en partes altas. Este potencial es parte de la motivación de desarrollar e integrar tecnologías para intervenir productivamente las micro-cuencas y ordenar su explotación con un enfoque socio-económico.

En este sentido una mejora en la actividad económica de la población llevará evidentemente a una mejora al ecosistema, haciendo las actividades productivas sustentables.

La producción de alimentos en partes altas, medias o bajas de montaña tiene soluciones económicas como la cosecha de agua y suministro de energía para su distribución en superficies desde tareas a unos cientos de hectáreas con alto potencial agrícola localizadas en diferentes partes de la cuenca con población rural, sin embargo falta motivar y ordenar la mini y micro irrigaciones y explotar el potencial agrícola con el que cuenta nuestro país. Como era de esperarse, la perspectiva clásica del suministro obligado del agua en condiciones de escasa precipitación a los cultivos en el norte del país para obtener alimentos se traduce en el sur del país con alta precipitación en periodos de lluvia y sequía de periodos cortos de tiempo, por lo que el complemento al riego es también indispensable.

U problema de aprovechamiento de agua de lluvia y aplicación del riego para maximizar la producción, incluso para producir continuamente en el tiempo se reconoce al realizar balances hídricos con fines agrícolas como lo es el pronóstico del riego en tiempo real, es decir considerar el aporte de la lluvia, de mantos freáticos, del riego, de extracción de agua por la planta y la infiltración-percolación más allá de la raíz dinámica del cultivo. Por ejemplo, la siembra de maíz y sorgo en el noreste del país no se logra sin el aporte invernal de lluvias.

En todo el país, los recursos hídricos están en seria competencia con los diferentes usos y cada uno de ellos debe ser eficiente mediante la aplicación de técnicas y tecnología. En este marco los recursos de agua salobre son objeto de interés, si se logra retirarles las sales, para que puedan ser aptas para su uso en actividades como la agricultura, donde surge nuevamente la posibilidad para el desarrollo y operación de tecnologías con uso de energía renovable. Por lo antes expuesto, se considera que la presente propuesta permitirá trabajar en el fortalecimiento de la resiliencia de las poblaciones rurales ante el impacto del cambio climático.

Capítulo I. Revisión del estado del arte sobre la aplicación de energía renovable para el desarrollo rural

Se recopiló un total de 94 archivos, ordenados en 10 carpetas identificadas con los nombres mostrados en la ilustración 1; a los que se añadieron las letras de la A a la J para indicar el orden en que se fueron trabajando. Posteriormente se sumaron 22 publicaciones más relacionadas con la desalinización, encontradas mediante internet, adicionadas en una carpeta denominada *K-Otros*.

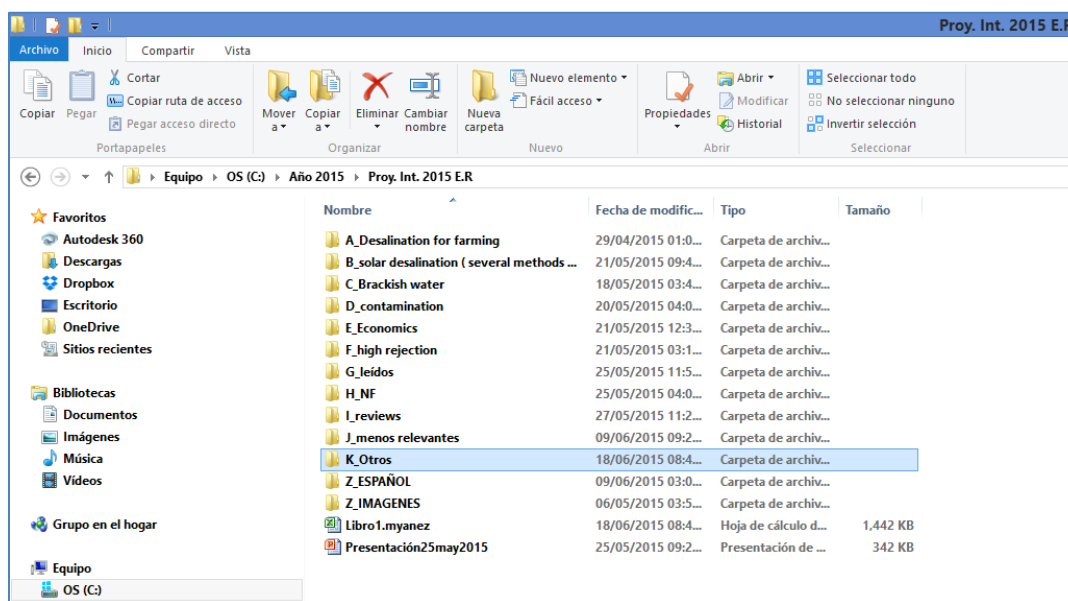


Ilustración 1. Pantalla del procesamiento de la información recopilada en carpetas de archivo.

Se revisaron un total de 116 archivos entre los que se encontraron cuatro repetidos. Por lo que finalmente quedaron 112 archivos analizados; de los cuales 97 son artículos científicos, 8 publicaciones diversas (informes, expedientes de consulta de expertos, publicaciones técnicas), dos tesis doctorales, una tesis de licenciatura, una presentación de diapositivas, un abstract de artículo científico, un folleto de carácter comercial y un issue brief.

Los documentos fueron analizados y clasificados de acuerdo al cuadro de Excel[®] proporcionado para este fin, denominado *Libro1.Rev.literatura.Ingles.xls*. Los documentos fueron numerados consecutivamente, conforme se fueron revisando, de tal forma que el número de aparición se anotó al inicio del nombre de cada uno de ellos, dentro de las carpetas o subcarpetas donde se encontraron, registrándose de esa manera en el cuadro, conforme a las variables siguientes:

1. Número (No.)
2. Carpeta/subcarpeta
3. Título (como se identificó en el contenido de las carpetas)
4. Tipo de publicación (Artículo, documento, folleto, informe, tesis doctoral, tesis de licenciatura, presentación de diapositivas)
5. Año (de publicación)
6. Autores
7. No. Proyecto (si existe)
8. Tipo : riego, drenaje o desalinización
9. Riego en campo o invernaderos
10. Localización
11. Descripción breve
12. Tecnología empleada
13. Descripción detallada
14. Características de diseño
15. Consumo (potencia suministrada y gasto, profundidad de extracción, etc)
16. Tipo de cultivos
17. Costo de instalación
18. Costos de operación.
19. Sector al cual está dirigido
20. Publicaciones relacionadas
21. Anotaciones personales

La descripción de las variables de la 1 a la 13, 16 y 19 se realizó en general para todos los casos, como se muestra en la siguiente figura.

C	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
No.	CATEGORÍA	TÍTULO	TIPO DE PUBLICACIÓN	Año	autor(es)	No. proyecto (si existe)	Tipo: Riego, drenaje o desalinización	Riego en campo o invernadero	Localización	Descripción breve	Tecnología empleada	Descripción detallada			
01	A_Desalination for farming	RL Condensation for Desalination and Irrigation	tesis doctoral	2012	Anna Lindblom		Desalinización y riego	Campo	Suecia	Describe el modelo de simulación desarrollado para un método de irrigación que combina la desalinización y el riego subterráneo. Este método puede utilizar el agua salada u otros tipos de agua contaminada como fuente de abastecimiento y el agua resultante puede usarse para riego o consumo humano, adaptando la tecnología según sea el caso.	Modelo-CED para simulación del sistema de condensación del agua (C2) que utiliza tecnología solar (C1) para generar vapor (C3) que se utiliza para calentar el agua salada (C4) y producir vapor (C5) que se condensa en agua dulce (C6). El modelo C2D se utilizó para simular un ejemplo de referencia de una instalación térmica de C2 en Malta. La tasa de agua en funcionamiento estacionario fue de 0.44 mm d ⁻¹ y la absorción de agua de la red fue de 19.5% del agua suministrada. Al bajar la temperatura del aire de entrada, el cultivo podría ser cosechado más cerca de los tubos en invernaderos ras. La tasa de riego obtenido por la distribución de la temperatura del aire de entrada desde 10 °C a 50 °C, y la reducción de la separación entre la tubería de 1.2 m a 0.6 m, fue 3.00 mm d ⁻¹ . La absorción de agua por la red, sin embargo, aumentó a 46% de la irrigación, lo que resulta en una mayor absorción de agua de la red. El ejemplo que funciona en C1 puede ser utilizado para la producción de agua potable mediante el uso de tubos en perforación en el suelo. El agua dulce condensada entonces puede ser recolectada en las terminaciones de los tubos. Este sistema fue simulado bajo el mismo escenario de referencia que el sistema de riego. La tasa de producción de agua en un tubo de 50 m de largo obtenido en el ejemplo fue del orden de 1.95 kg d ⁻¹ , que corresponde a 0.1 2.38 mm.				
02	A_Desalination for farming	S2: Solar photovoltaic for sustainable agriculture and rural development	Publicación científica FAO	2000	B van Campen, D Guad and Q. Best		Riego	Campo	Roma, Italia	El objetivo principal de este estudio es comparar el potencial de riego y las limitaciones de los sistemas fotovoltaicos en la agricultura sostenible y el desarrollo rural (SARD), especialmente en relación con las actividades de generación de ingresos. En particular, en el capítulo 3 se menciona el caso de la India, donde se han experimentado.	Sistemas fotovoltaicos (PV)	Una parte importante de la agricultura en India (aproximadamente el 30 por ciento) es de riego y otros 30 por ciento se estima que tiene potencial de riego. El Gobierno de la India siempre ha estimado el uso de electricidad para el bombeo con los costos de conexión y las tarifas de electricidad subvencionados (hasta 80% de subsidio). Esto ha llevado a un alto consumo de electricidad para el riego (25 por ciento de algunos estados). Posteriormente, en 1991, contribuyó a una creciente brecha entre la capacidad de generación y la demanda de hasta un 40 % en algunos estados. En 1992, se introdujo un programa demostrativo de bombas solares fotovoltaicas para la agricultura y otros usos. Con la ayuda de subsidios y préstamos otorgados se instalaron bombas fotovoltaicas en varias zonas. Al final de la primera fase, en 1995, 463 bombas habían sido instaladas. Si se le da el adecuado apoyo y subsidios con el apoyo financiero del sistema, el riego puede ser un total de 1.83 millones de bombas hasta 1999 (83 por ciento para riego agrícola, 20% para horticultura, y 12% para otros usos (incluyendo piscicultura y acuicultura). Al final de 1999 se habían instalado un total de 1,300 unidades de bombas.	El sistema de riego incluye los costos de conexión y las tarifas de electricidad subvencionados (hasta 80% de subsidio). Esto ha llevado a un alto consumo de electricidad para el riego (25 por ciento de algunos estados). Posteriormente, en 1991, contribuyó a una creciente brecha entre la capacidad de generación y la demanda de hasta un 40 % en algunos estados. En 1992, se introdujo un programa demostrativo de bombas solares fotovoltaicas para la agricultura y otros usos. Con la ayuda de subsidios y préstamos otorgados se instalaron bombas fotovoltaicas en varias zonas. Al final de la primera fase, en 1995, 463 bombas habían sido instaladas. Si se le da el adecuado apoyo y subsidios con el apoyo financiero del sistema, el riego puede ser un total de 1.83 millones de bombas hasta 1999 (83 por ciento para riego agrícola, 20% para horticultura, y 12% para otros usos (incluyendo piscicultura y acuicultura). Al final de 1999 se habían instalado un total de 1,300 unidades de bombas.		
03	A_Desalination for farming	S3: Water project: The use of solar energy in agriculture and sustainable agriculture	Artículo	2006	Columbo Sargenta, Maria-Buchholtz, Patricia Sothom, Jonathan Pflanz Paris		Desalinización y riego	Invernadero	Cajamar, Almería, España/Berlín, Alemania	El proyecto contempla el desarrollo de dos prototipos: una solución de clima cálido del sur de Europa, con énfasis en la producción de agua en el contexto de la horticultura de invernadero, y otro para el clima templado de Europa Central, ya centrado en la producción de calor y agua para la agricultura sostenible.	Colectores solares de aire húmedo	El proyecto Waterag propone dos prototipos de aplicación de un colector solar de aire húmedo. El primero es un invernadero diseñado para la captación de energía térmica solar, recírculo de agua, evaporación de agua y uso de horticultura avanzada, construido en la Estación Experimental de Cajamar en Almería, España, en funcionamiento desde el año de 2004. El sistema permite controlar el clima dentro del invernadero cerrado. Así como el clima dentro del invernadero con la recuperación de toda la evaporación de los cultivos. Esto abre una posibilidad interesante para una gestión sostenible del agua en la horticultura intensiva, como los invernaderos de riego con agua gris, controlados en un medio de producción no solo de frutas, sino también de agua potable. Alternativamente, el agua gris se deja fuera del sistema, el invernadero puede reducir el gran medida el consumo de agua con la recuperación del agua desalada recuperada. El segundo prototipo se construyó en Berlín, Alemania. Fue diseñado para el aprovechamiento de la energía solar para el almacenamiento o suministro de calor y agua potable en edificios.	La compañía de galvanizado, en colaboración con el fabricante de riego, incluye los costos de conexión y las tarifas de electricidad subvencionados (hasta 80% de subsidio). Esto ha llevado a un alto consumo de electricidad para el riego (25 por ciento de algunos estados). Posteriormente, en 1991, contribuyó a una creciente brecha entre la capacidad de generación y la demanda de hasta un 40 % en algunos estados. En 1992, se introdujo un programa demostrativo de bombas solares fotovoltaicas para la agricultura y otros usos. Con la ayuda de subsidios y préstamos otorgados se instalaron bombas fotovoltaicas en varias zonas. Al final de la primera fase, en 1995, 463 bombas habían sido instaladas. Si se le da el adecuado apoyo y subsidios con el apoyo financiero del sistema, el riego puede ser un total de 1.83 millones de bombas hasta 1999 (83 por ciento para riego agrícola, 20% para horticultura, y 12% para otros usos (incluyendo piscicultura y acuicultura). Al final de 1999 se habían instalado un total de 1,300 unidades de bombas.	El sistema de riego incluye los costos de conexión y las tarifas de electricidad subvencionados (hasta 80% de subsidio). Esto ha llevado a un alto consumo de electricidad para el riego (25 por ciento de algunos estados). Posteriormente, en 1991, contribuyó a una creciente brecha entre la capacidad de generación y la demanda de hasta un 40 % en algunos estados. En 1992, se introdujo un programa demostrativo de bombas solares fotovoltaicas para la agricultura y otros usos. Con la ayuda de subsidios y préstamos otorgados se instalaron bombas fotovoltaicas en varias zonas. Al final de la primera fase, en 1995, 463 bombas habían sido instaladas. Si se le da el adecuado apoyo y subsidios con el apoyo financiero del sistema, el riego puede ser un total de 1.83 millones de bombas hasta 1999 (83 por ciento para riego agrícola, 20% para horticultura, y 12% para otros usos (incluyendo piscicultura y acuicultura). Al final de 1999 se habían instalado un total de 1,300 unidades de bombas.	
La tabla continúa... Cambiar el mundo haciendo cosas. Día a día. Mejorando cada un mayor número de cosas.															

Ilustración 2. Pantalla de Clasificación de documentos analizados

Las variables 14, 15, 17, 18 y 20 se describieron particularmente en algunos casos relacionados con la desalinización aplicada al riego agrícola y la variable 21 solo fue recopilada ocasionalmente.

Al final del proceso de clasificación se encontraron 79 artículos sobre desalinización (descripción de diversos métodos, comparaciones de eficiencias y rendimientos, costos, ventajas y desventajas de su aplicación), 30 documentos sobre desalinización aplicada al riego agrícola, uno de ellos además mencionando su posible uso para el consumo animal, uno sobre uso de energías renovables aplicadas al riego agrícola, otro sobre desalinización y drenaje y el último sobre extracción de agua del aire.

De los 30 documentos sobre desalinización aplicada al riego agrícola, 13 se refieren a la aplicación de este tipo de tecnologías a nivel de parcelas en campo, 15 mencionan experiencias a nivel de invernaderos y los dos restantes no especifican el nivel de su aplicación. La procedencia de las experiencias reportadas en estos documentos es diversa, encontrando aportaciones de

Egipto, Arabia Saudita, Túnez, Suecia, Sultanato de Omán, Israel, EEUU, Italia, España, Irán y Australia, así como algunas en donde se mencionan en forma regional como países subsaharianos, Asia y África y del mar Mediterráneo.

La aplicación de estas tecnologías se destina principalmente a cultivos de alto valor económico, como son las hortalizas (tomate, chile, pimiento, pepino, lechuga) y flores, mencionándose la posible aplicación al cultivo de algunas frutas pero sin especificar las especies. Las citas que tocan este aspecto son en su mayoría las dedicadas al estudio del uso del agua desalinizada para el riego en invernaderos.

De los documentos analizados se desprende que uno de los métodos más utilizados para los casos de desalinización aplicada al riego agrícola es la ósmosis inversa, en sistemas híbridos utilizando energías renovables, preponderantemente la energía solar. Y sólo un documento menciona el uso de software (software ROSA solo se menciona en el documento *101_Is irrigation with partial desalinated seawater a policy option for saving* para la modelación del proceso de desalinización), mientras que en varios de ellos se desarrollan modelos propios para la simulación.

En anexo se adjuntan 112 archivos y la base de datos en Excel con sus características.

Capítulo II. Realización del anteproyecto para el desarrollo de un área experimental con tecnología renovable

II.1 Bases de la energía renovable

Las energías renovables son aquellas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por la humanidad, y que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles en forma continua. Las fuentes renovables de energía perduraran por miles de años. Las energías renovables se pueden clasificar en distintas formas: por su origen primario de la energía, por el nivel de desarrollo de las tecnologías, y por las aplicaciones de las energías.

La energía en cualquiera de sus formas no puede crearse ni destruirse; solo se puede cambiar de una forma a otra (primera ley de la Termodinámica). Aunque la energía no se pierde, si se degrada en un proceso irreversible (segunda ley de la Termodinámica). Por ello, en rigor la energía no puede considerarse renovable. Lo que puede renovarse es su fuente, por ejemplo el viento, o una caída de agua. Sin embargo, el uso del lenguaje ha llevado a las fuentes renovables de energía a denominarse simplemente energías renovables.

Dentro de estos tipos de energía se encuentran: la solar, la eólica (viento), la mini hidráulica (ríos y pequeñas caídas de agua), la biomasa (materia orgánica), la geotermia (calor de las capas internas de la Tierra) y la oceánica, principalmente.

<p>Energías renovables:</p> <p>SOLAR – HIDRÁULICA – EÓLICA – BIOMASA – MAREOMOTRIZ – ENERGÍA DE LAS OLAS - GEOTÉRMICA</p>
<p>Energías no renovables:</p> <p>CARBÓN – PETRÓLEO – GAS NATURAL</p>

El consumo de energía es necesario para el desarrollo económico y social. Entonces, ¿Por qué es necesario utilizar fuentes energéticas diferentes de las tradicionales?. Ante esta pregunta se pueden enumerar diversas razones, por ejemplo:

- Las energías no renovables se van agotando
- Pueden producir impactos negativos en el medio ambiente
- No aseguran el abastecimiento desde el exterior

Las energías renovables ofrecen la oportunidad de obtener energía útil para diversas aplicaciones, su aprovechamiento tiene menores impactos ambientales que el de las fuentes convencionales y poseen el potencial para satisfacer todas nuestras necesidades de energía presentes y futuras. Además, su utilización contribuye a conservar los recursos energéticos no renovables y propicia el desarrollo regional.

En la tabla 1, se destacan las ventajas de las energías renovables respecto a las energías convencionales:

Tabla 1. Ventajas y desventajas de las energías renovables no renovables.

	E. Renovables	E. Convencionales
Ventajas medioambientales	Las energías renovables no producen emisiones de CO ₂ y otros gases contaminantes.	Las energías producidas a partir de combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) si las producen.
	Las energías renovables no generan residuos de difícil tratamiento.	La energía nuclear y los combustibles fósiles generan residuos que suponen durante generaciones una amenaza para el medioambiente.
	Las energías renovables son inagotables.	Los combustibles fósiles son finitos.
Ventajas estratégicas	Las energías renovables son autóctonas.	Los combustibles fósiles existen solo en un número limitado de países.
	Las energías renovables disminuyen la dependencia exterior.	Los combustibles fósiles son importados en un alto porcentaje.

Ventajas Socioeconómicas	Las energías renovables crean cinco veces más puestos de trabajo que las convencionales.	Las energías tradicionales crean muy pocos puestos de trabajo respecto a su volumen de negocio.
	Las energías renovables han permitido desarrollar tecnologías propias.	Las energías tradicionales utilizan en su mayoría tecnología importada.

Las energías de nuestro interés en este proyecto son principalmente tres (Solar, Hidráulica y Eólica) y son las que se abordarán a continuación:

II.2 Energía Solar

Es la que se produce del Sol debido a la continua reacción termonuclear que en su interior se lleva a cabo a temperaturas de varios millones de grados. Se forma cuando átomos de hidrogeno se combinan para formar átomos más pesados de helio. Al finalizar esta transformación, una parte se convierte en helio final y otra desaparece en radiación luminosa. Esta radiación luminosa es irradiada por el Sol hacia todas direcciones del tal forma que es la que nos llega a la Tierra.

Existen vías principales para el aprovechamiento de la radiación solar:

- Energía Solar Térmica: Consiste en utilizar la radiación del para calentar un fluido que en función de su temperatura, se emplea para producir agua caliente e incluso vapor.
- Energía Solar Fotovoltaica: Se realiza a través de la transferencia directa de la energía solar en energía eléctrica mediante el llamado efecto fotovoltaico. Esta transformación se lleva a cabo mediante “células solares” que están fabricadas con materiales semiconductores (por ejemplo, silicio) que generan electricidad cuando incide sobre ellos la radiación solar.

Los sistemas solares térmicos y los fotovoltaicos son técnicamente independientes entre sí, es decir, de un mismo panel no se puede obtener al

mismo tiempo calor y energía eléctrica. Sin embargo, son instalaciones perfectamente compatibles y se puede tener, en una misma instalación, paneles solares térmicos para agua caliente sanitaria o calefacción y paneles solares fotovoltaicos para la producción de energía eléctrica o para su venta a la red.

El utilizar energía solar tiene diversas ventajas como las siguientes:

a) Ventajas Medioambientales

La energía solar contribuye a la reducción de las emisiones de CO₂, no produce residuos de difícil tratamiento y constituye una fuente de energía inagotable.

b) Ventajas Estratégicas

Tanto la energía solar como la fotovoltaica provienen de recursos autóctonos por lo que disminuye la dependencia energética y económica exterior.

c) Ventajas Socioeconómicas

El desarrollo de la energía solar presenta el valor añadido de generar puestos de trabajo y permitir el desarrollo de tecnologías propias.

II.3 Energía Hidráulica

El aprovechamiento de la energía potencial del agua procedente de un salto para producir energía eléctrica es lo que se conoce como Energía Hidráulica. El agua mueve una turbina cuyo movimiento de rotación es transferido mediante un eje a un generador de electricidad.

Se considera que este tipo de energía es renovable cuando la potencia es inferior a 10 MW.

El utilizar energía hidráulica tiene diversas ventajas como las siguientes:

Ventajas Medioambientales

Se trata de una energía renovable de alto rendimiento energético.

Debido al ciclo del agua su disponibilidad es inagotable.

Es una energía limpia puesto que no produce emisiones tóxicas durante su funcionamiento.

Además, los embalses que se construyen para generar energía hidráulica:

Permiten el almacenamiento de agua para la realización de actividades recreativas y el abastecimiento de sistemas de riego.

Pueden regular el caudal del río evitando riesgos de inundación en caso de crecidas inusuales.

Ventajas Económicas

La gran ventaja de la energía hidráulica es la eliminación de combustibles. El costo de operar una planta hidráulica es casi inmune a la volatilidad de los precios de los combustibles fósiles como el petróleo, el carbón o el gas natural.

Como las plantas hidráulicas no queman combustible, no producen directamente dióxido de carbono.

II.4 Energía Eólica

Es la energía obtenida del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire y que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas. La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan de zonas de alta presión atmosférica hacia otras adyacentes de baja presión.

Los sistemas eólicos utilizan la energía cinética contenida en el viento para producir electricidad mediante los denominados aerogeneradores. Existen dos tipos de instalaciones eólicas:

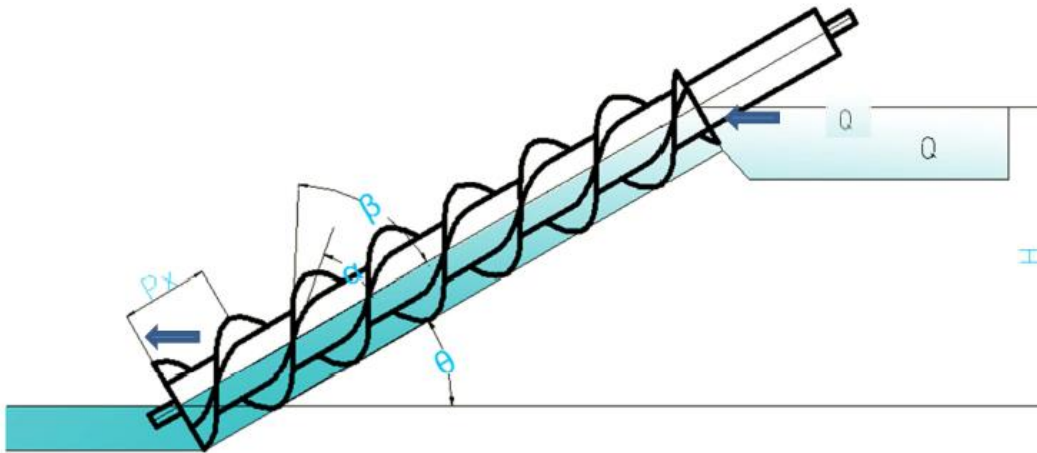
- Aisladas para generar electricidad en lugares remotos para autoconsumo. Es muy común que estas instalaciones vayan combinadas con paneles fotovoltaicos.
- Parques eólicos, formados por un conjunto de aerogeneradores, para venta a la red de la electricidad generada.

El desarrollo tecnológico actual, así como un mayor conocimiento de las condiciones del viento en las distintas zonas, está permitiendo la implantación de parques eólicos conectados a la red eléctrica en numerosas regiones de todo el mundo.

II.5 Equipo con fines de experimentación

II.5.1 Tornillo de Arquímedes

En la ilustración 3 se esquematiza el tornillo de Arquímedes para la construcción y el diseño, se definen siete parámetros externos: caudal disponible, diámetro interno del tornillo, altura del salto, ángulo de inclinación del tornillo, eficiencia y el número de hilos. Con estos parámetros se deduce la geometría del tornillo la cual es: longitud, ángulo de inclinación de la hélice, diámetro externo, paso diametral y potencia generada.



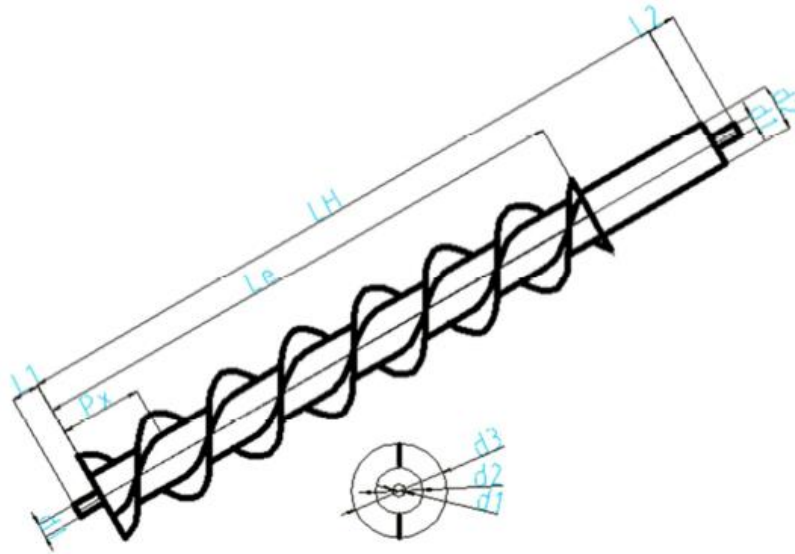


Ilustración 3. Tornillo de Arquímedes

Simbología:

α = Ángulo de inclinación exterior de la hélice.

β = Ángulo de inclinación interior de la hélice.

θ = Ángulo de inclinación del tornillo.

Q = Caudal.

d_1 = Diámetro del eje sólido

L_1 = Longitud del eje sólido inferior.

P_x = Paso del tornillo.

L_e = Longitud de la hélice.

L_H = Longitud del eje hueco.

d_2 = Diámetro del eje hueco

d_3 = Diámetro del exterior del tornillo.

H = Altura del salto.

R = Radio exterior del tornillo.

r = Radio del eje hueco

N = Número de hélice

La ilustración 3 se muestra esquemáticamente el tornillo de dos hilos. Sea L_e la parte del eje donde es colocado el espiral del tornillo, d_3 es el diámetro exterior del tornillo, d_2 es el diámetro interior del tornillo, θ es el ángulo de

inclinación del tornillo, H es la caída total desde la superficie del agua en el canal de llegada hasta la superficie libre del agua en el canal de desfogue.

II.5.1 Diseño Geométrico del Tornillo

La geometría de un tornillo de Arquímedes se rige por ciertos parámetros externos (su radio exterior, longitud, y la pendiente) y ciertos parámetros internos (su radio interior, el número de hélices y el paso de las palas). Los parámetros externos están determinados generalmente por la ubicación del tornillo y la cantidad de agua se va a levantar. Los parámetros internos, sin embargo, son libres de ser elegido para optimizar el rendimiento del tornillo.

Primeramente se debe de contar con los datos de carga (H) y caudal (Q) el primero corresponde a condiciones del terreno y a la medida que el diseñador desee aprovechar y el segundo depende del cauce de agua. Esto quiere decir que el diseño geométrico comprende dos aspectos primordiales, la optimización de materiales del tornillo y la selección de una geometría tal que repercuta en altas eficiencias hidráulicas (η).

Para este caso se tiene una $H = 1.5$ m y $Q = 0.04$ m³/s.

Encontrar la geometría óptima para lograr la máxima eficiencia hidráulica es objetivo primordial de un diseño de aprovechamiento hidroeléctrico. A continuación se abordan las condiciones del diseño geométrico:

Como se ha mencionado para el diseño geométrico se tiene parámetros externos e internos, los externo son:

R_0 = radio del cilindro exterior del tornillo (m)
 L = longitud total del tornillo (m)
 K = pendiente de tornillo (adimensional)

La literatura menciona que la inclinación del tornillo (θ), se encuentran en una rango de 30° a 38° con respecto al plano horizontal. Tomando en cuenta esto, la pendiente del tornillo (K) se puede obtener con la fórmula siguiente:

$$K = \tan \theta$$

Para fines de este diseño se tomo $\theta = 35^\circ$, por lo que calculando la pendiente del tornillo, tenemos:

$$K = \tan 35 = 0.7002$$

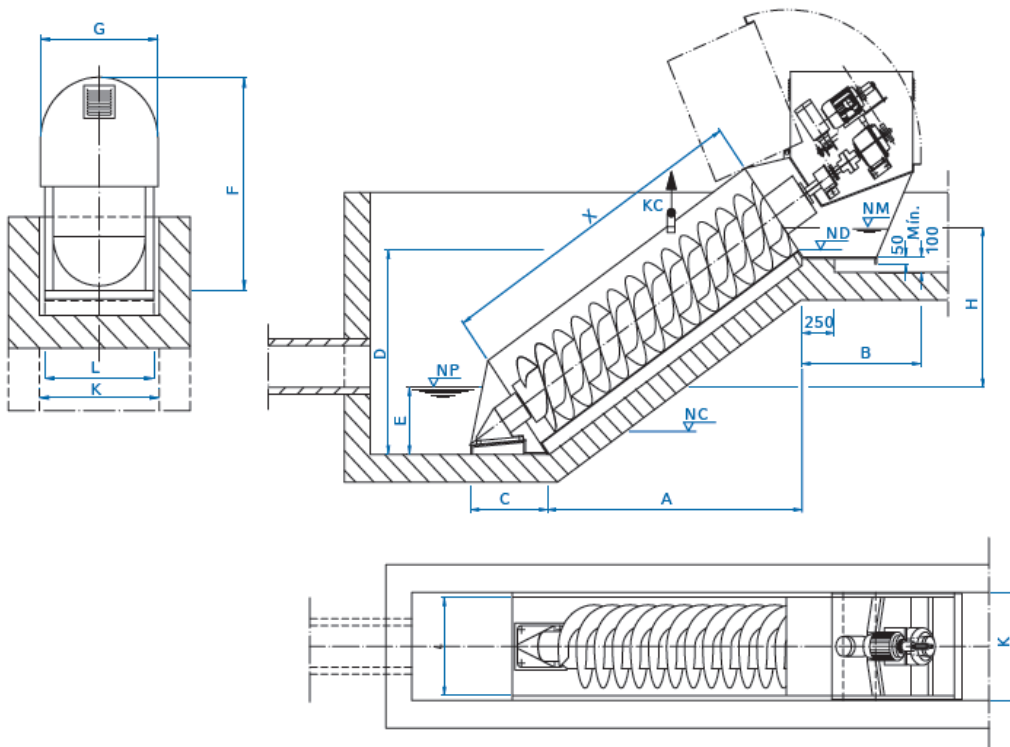
La carga hidráulica se utiliza para obtener la longitud del tornillo, con la siguiente fórmula:

$$L = \frac{H}{\sin \theta}$$

Sustituyendo nuestros datos en la formula, tenemos:

$$L = \frac{1.5}{\sin 35} = 2.61 \text{ m}$$

Teniendo el caudal de diseño, se entra a la siguiente tabla para poder obtener el radio del cilindro exterior del tornillo (R_o).



Q l/s	Ø	A	B	C	D	E	F	G	L	K	X
18	400		1013	435		390	1300	564	510	580	
30	500		950	518		440	1330	664	610	680	
48	600		949	585		510	1433	764	710	780	
68	700		1181	667		630	1575	864	810	880	
115	800		1189	784		650	1747	964	910	980	
152	900		1446	840		710	1809	1064	1010	1080	
195	1000		1419	924		790	1913	1164	1160	1230	
245	1100		1362	1022		830	2145	1264	1260	1330	
300	1200		1554	1126		900	2327	1364	1360	1430	

Cotas en milímetros

Ilustración 4. Dimensiones propuestas por el fabricante.

Como se sabe se tiene un caudal (Q) de 40 l/s, de tal forma que se interpola para obtener el radio del cilindro exterior del tornillo (R_o) lo cual nos da un valor de 0.28 m.

Los parámetros internos son:

R_i = radio del cilindro de rosca interior (m) ($0 \leq R_i \leq R_o$)

Λ = paso (o periodo) de una hoja (m) ($2\pi R_o/K, 2\pi R_i/K$)

N = número de hélices (adimensional), $N = 1, 2, \dots$,

De los parámetros internos lo que necesitamos conocer es el número de hélice (N) y los valores son normalmente 1, 2 o 3, debido a las limitaciones de fabricación, peso y costo.

En este caso se optó por un número de hélice ($N=2$). Teniendo el número de hélice (N), radio del cilindro exterior del tornillo (R_o) y la pendiente podemos encontrar los parámetros internos. Con (N) se procede a entrar a la siguiente tabla, mostrada en la ilustración 5; en donde se muestran las relaciones óptimas del tornillo de Arquímedes para diferentes números de hélices:

Number of blades N (1)	Optimal radius ratio ρ^* (2)	Optimal pitch ratio λ^* (3)	Optimal volume-per-turn ratio $\lambda^* \nu(N, \rho^*, \lambda^*)$ (4)	Optimal volume ratio $\nu(N, \rho^*, \lambda^*)$ (5)
1	0.5358	0.1285	0.0361	0.2811
2	0.5369	0.1863	0.0512	0.2747
3	0.5357	0.2217	0.0598	0.2697
4	0.5353	0.2456	0.0655	0.2667
5	0.5352	0.2620	0.0696	0.2647
6	0.5353	0.2763	0.0727	0.2631
7	0.5354	0.2869	0.0752	0.2619
8	0.5354	0.2957	0.0771	0.2609
9	0.5356	0.3029	0.0788	0.2601
10	0.5356	0.3092	0.0802	0.2592
11	0.5358	0.3145	0.0813	0.2586
12	0.5360	0.3193	0.0824	0.2580
13	0.5360	0.3234	0.0833	0.2574
14	0.5360	0.3270	0.0841	0.2571
15	0.5364	0.3303	0.0848	0.2567
16	0.5362	0.3333	0.0854	0.2562
17	0.5362	0.3364	0.0860	0.2556
18	0.5368	0.3380	0.0865	0.2559
19	0.5364	0.3404	0.0870	0.2555
20	0.5365	0.3426	0.0874	0.2551
21	0.5370	0.3440	0.0878	0.2553
22	0.5365	0.3465	0.0882	0.2544
23	0.5369	0.3481	0.0885	0.2543
24	0.5367	0.3500	0.0888	0.2538
25	0.5371	0.3507	0.0891	0.2542
.
.
.
∞	0.5394	0.3953	0.0977	0.2471

Ilustración 5. Relaciones óptimas del tornillo de Arquímedes para diferentes números de hélices:

Si $N=2$, y entramos a la tabla, se nos arrojan los siguientes valores óptimos del diseño:

$$\text{Relacion de radio optimo} \rightarrow \rho^* = 0.5369$$

$$\text{Relacion de paso optimo} \rightarrow \lambda^* = 0.1863$$

Teniendo esto, por fórmula podemos encontrar el radio del cilindro interior del tornillo (R_i) y el paso o periodo de una hoja (Λ).

$$R_i^* = \rho^* R_o$$

$$R_i^* = (0.5369)(0.28) = 0.1503 \text{ m}$$

$$\Lambda^* = \frac{2\pi R_o \lambda^*}{K}$$

$$\Lambda^* = \frac{2\pi(0.28)(0.1863)}{0.7002} = 0.4681 \text{ m}$$

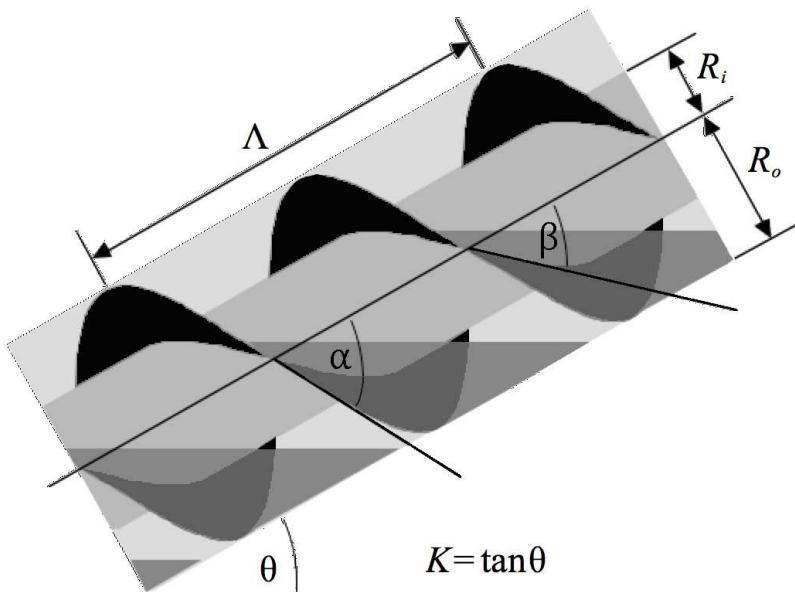


Ilustración 6. Dimensiones básicas del tornillo de Arquímedes.

Como se observa en la ilustración 6, aún falta definir los valores de α y β , estos son despejados de las fórmulas siguientes:

$$\tan \alpha = R_o \left(\frac{2\pi}{\Lambda} \right)$$

$$\tan \beta = R_i \left(\frac{2\pi}{\Lambda} \right)$$

Despejando la variable de interés y sustituyendo los valores, se tiene:

$$\alpha = \tan^{-1} R_o \left(\frac{2\pi}{\Lambda} \right)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(0.28 * \left(\frac{2\pi}{0.4681} \right) \right) = 75.100$$

$$\beta = \tan^{-1} R_i \left(\frac{2\pi}{\Lambda} \right)$$

$$\beta = \tan^{-1} \left(0.1503 * \left(\frac{2\pi}{0.4681} \right) \right) = 63.633$$

En términos de los ángulos θ , α y β , de la ilustración 6, es necesario que $\theta \leq \alpha$ y $\theta \leq \beta$, para el agua sea atrapada por el tornillo.

Hasta aquí se tiene el diseño geométrico establecido, al final se debe checar que se cumplan las restricciones establecidas.

A continuación se resumen una tabla con los valores del diseño geométrico de la turbina de Arquímedes.

Tabla de resumen			
Carga	H	1.50	m
Caudal total	Q	0.04	m ³ /s
Angulo de inclinación del tornillo	Θ	35.00	°
Longitud del tornillo	L	2.62	m
Radio del cilindro exterior del tornillo	R_o	0.28	m
Pendiente del tornillo	K	0.70	adim.
Numero de hélice	N	2.00	adim.
Optimal radius ratio	ρ^*	0.54	adim.
Optimal pitch ratio	λ^*	0.19	adim.
Optimal volume-per-turn ratio	$\lambda^*v(N,\rho^*,\lambda^*)$	0.05	adim.
Optimal volume ratio	$v(N,\rho^*,\lambda^*)$	0.27	adim.
Radio del cilindro interior del tornillo	R_i^*	0.15	m
Paso o periodo de una hoja	Λ^*	0.47	m
Angulo de inclinación interior de la hélice	A	75.10	°
Angulo de inclinación exterior de la hélice	B	63.64	°

Ilustración 7. Valores del diseño geométrico de la turbina de Arquímedes.

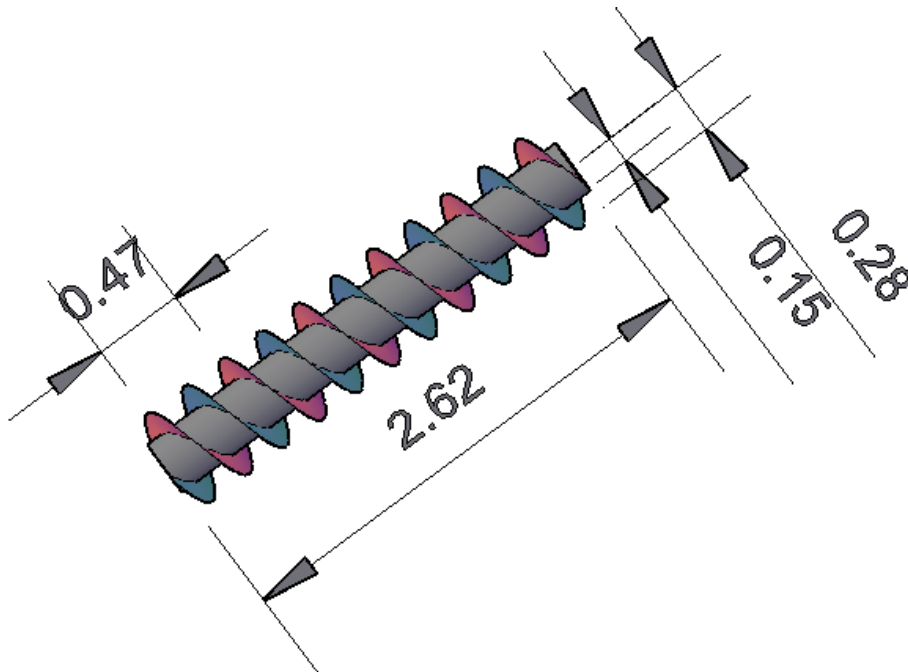


Ilustración 8. Dimensiones del tornillo.

Corresponde entonces a un tornillo de magnitudes considerables, con 0.56 m de radio externo y una longitud de 2.62 m. de esta forma logra desarrollar el desnivel (carga) de 1.5 m con 35° de inclinación respecto a la horizontal. El diseño preliminar se realiza para láminas de acero de $\frac{1}{4}$ de pulgada, es decir 6.35 mm.

Los parámetros para el cálculo de potencia instalada para la turbina diseñada en el proyecto de Energía Renovable se presentan a continuación. El valor del desnivel corresponde a 1.5 m, por otro lado el valor de la eficiencia no es conocido y podrá ser determinado una vez el proyecto este en operación; de esta manera se supone un valor de $\eta = 0.80$ para efectos de cálculo. Este valor es acorde con lo sugerido por la literatura como puede observarse en la ilustración 9.

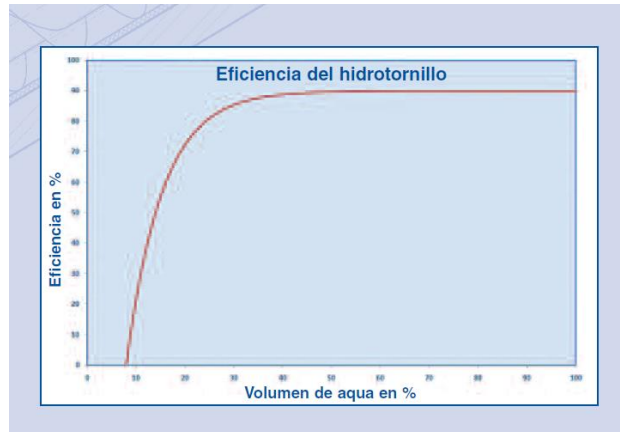


Ilustración 9. Curva de eficiencia con respecto al volumen de agua.

Para el cálculo de la potencia se calcula con la formula siguiente:

$$P = \eta \rho Q H$$

Donde:

$P =$ Potencia (kW)

$\eta =$ Eficiencia (adim.)

$\rho =$ peso especifico del agua = 9.81 (kN/m³)

$Q =$ Caudal total (m³/s)

$H =$ Desnivel (m)

Sustituyendo los datos tenemos:

$$P = (0.80)(9.81)(0.040)(1.5) = 0.47 \text{ (kW)}$$

En la siguiente tabla se resume el cálculo de potencia del proyecto.

Parámetros para el cálculo de potencia del proyecto.

Carga	H	1.50	m
Longitud del tornillo	L	2.62	m
Eficiencia	η	0.80	adim.

Peso específico del agua	ρ -agua	9.81	(kN/m ³)
Caudal total	Q	0.04	(m ³ /s)
Potencia	P	0.47	(kW)

El proyecto de la turbina cuenta entonces con una capacidad instalada de 0.47 kW.

II.6 Diseño Estructural

La lamina de acero por la cual estará compuestas las hélices del tornillos solo soportan la fuerza del agua, por ello se encontró que un espesor de 1/4" es suficiente para soportar tales fuerzas.

II.7 Paneles Solares

II.7.1 Tipos de Paneles Solares

Existen diferentes tipos de paneles solares en función de los materiales empleados, los métodos de fabricación que se empleen y la forma final. A continuación se describen los materiales que pueden formar las células solares:

1. Silicio Puro monocristalino. Basados en secciones de una barra de silicio perfectamente cristalizado en una sola pieza. En laboratorio se han alcanzado rendimientos máximos del 24.7% para este tipo de paneles siendo los comercializados del 16% (Ilustración 10).



Ilustración 10. Módulo compuesto por células de silicio monocristalino.

2. Silicio puro policristalino. Los materiales son semejantes a los del tipo anterior aunque en este caso el proceso de cristalización del silicio es diferente. Los paneles policristalinos se basan en secciones de una barra de silicio que se ha estructurado desordenadamente en forma de pequeños cristales. Son visualmente muy reconocibles por presentar su superficie un aspecto granulado. Se obtiene con ellos un rendimiento inferior que con los monocristalinos (en laboratorio del 19.8% y en los módulos comerciales del 14%) siendo su precio también más bajo (Ilustración 11).



Ilustración 11. Módulo formado por células de silicio policristalino.

3. Paneles delgados:
 - 3.1. Silicio amorfo. Basados también en el silicio, pero a diferencia de los dos anteriores, este material no sigue aquí estructura cristalina alguna.

Paneles de este tipo son habitualmente empleados para pequeños dispositivos electrónicos (Calculadoras, relojes) y en pequeños paneles portátiles. Su rendimiento máximo alcanzado en laboratorio ha sido del 13% siendo el de los módulos comerciales del 8%.

- 3.2. Teluro de cadmio. Rendimiento en laboratorio 16% y en módulos comerciales 8%.
- 3.3. Arseniuro de Galio. Uno de los materiales más eficientes, presenta unos rendimientos en laboratorio del 25.7% siendo los comerciales del 20%.
- 3.4. Diseleniuro de cobre en indio. Con rendimientos en laboratorio próximos al 17% y en módulos comerciales del 9%.
- 3.5. Triple unión. GaAs, Ge y GaInP₂ esta unión de tres semiconductores obtiene un rendimiento del 39%.

Los paneles a emplear en el laboratorio son de Silicio Puro monocristalino debido a que son más eficientes que los demás a excepción de los de triple unión (Ilustración 12).



Ilustración 12. Paneles solares de 250 watts de potencia.

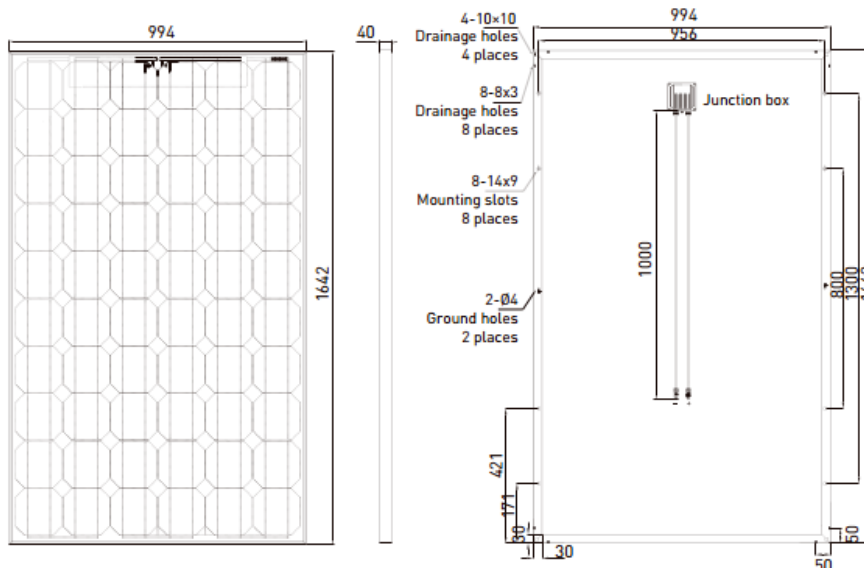


Ilustración 13. Dimensiones de los Módulos Solares LDK-240D-20.

II.7.2 Orientación e Inclinación de los Paneles

La orientación óptima sería que los módulos fotovoltaicos estuvieran en todo momento perpendiculares a la línea imaginaria que una el sol con la instalación fotovoltaica. Eso es lo que sucede en las instalaciones con seguidores de dos ejes, en ese caso la instalación se mueve siguiendo el movimiento del sol a lo largo del día. Pero las instalaciones fijas deben orientarse para tratar de aprovechar al máximo la energía recibida del sol. La instalación de los módulos fotovoltaicos está determinada por dos ángulos, el acimut α (ángulo que mide la desviación respecto al ecuador) y la inclinación o elevación β (ángulo formado por la superficie del módulo y el plano horizontal).

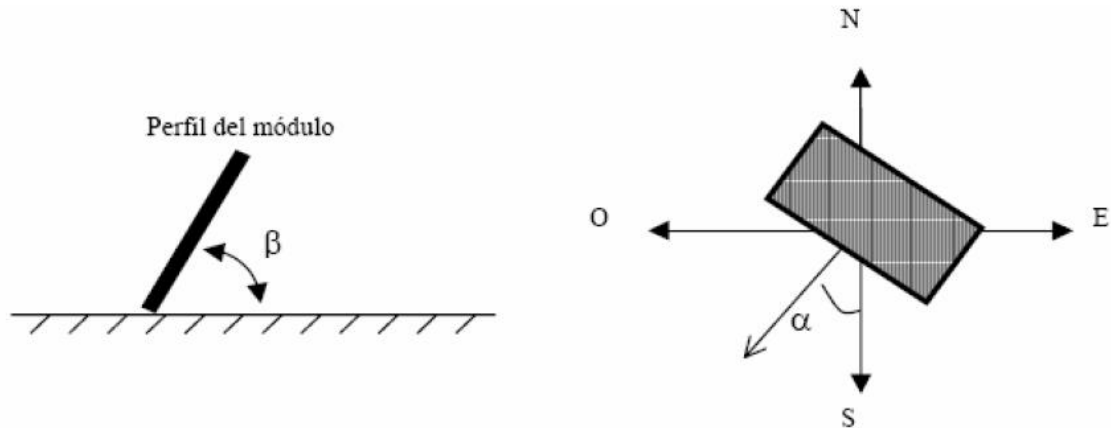


Ilustración 14. Orientación e inclinación de los módulos.

Acimut (α)

Valores típicos son 0 para paneles orientados al sur, -90 para orientación a este y +90 para orientación al oeste.

La posición idónea es con $\alpha = 0$, es decir, orientado hacia el ecuador, ya que el sol sale por el Este y se pone por el Oeste, para que durante el día el panel capte la mayor cantidad de radiación posible.

Un factor importante es el de las sombras, hay que tener cuidado que no se produzcan sombras sobre los paneles por parte de ellos u otros objetos, para lo cual es preciso estudiar los elementos que rodean al campo de paneles.

Inclinación (β)

Debido a que la máxima altura que alcanza el sol cada día varía según las estaciones, teniendo su máximo en el día del solsticio de verano y su mínimo en el solsticio de invierno, lo ideal sería que el panel siguiese esta variación, pero esto no es posible por razones de coste. Se pueden dar a los paneles dos inclinaciones, una para los meses de verano y otra para los meses de invierno, pero en ese caso también se complican las estructuras de soporte, por lo que solo tiene sentido si hay un incremento considerable del consumo durante el verano.

Por lo regular la inclinación óptima es de $\beta = 30$, esto suponiendo que la instalación este enfocada a la producción anual, una forma correcta de obtener este valor es calcular la radiación obtenida por los paneles para diferentes inclinaciones y se selecciona la inclinación que capte la mayor radiación posible en el año, en ocasiones solo se decide que la producción será en verano, en invierno o anual, dependiendo de cada caso será la inclinación seleccionada, nosotros elegimos producción anual obteniéndose así el valor ya mencionado, aunque algunos autores mencionan que la inclinación ideal es la latitud del lugar y se comprobó que efectivamente también puede ser una opción, por lo cual la inclinación de los paneles puede ser también 20 grados ya que la latitud para Cuernavaca es de 18 grados.

En cualquier caso, se recomienda que la inclinación del panel nunca sea menor que 15 debido a que acumulan polvo y/o humedad.

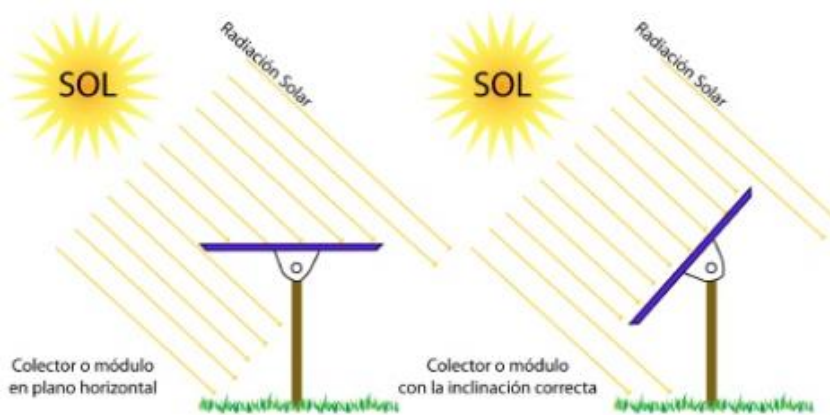


Ilustración 15. Inclinación correcta de los paneles solares.

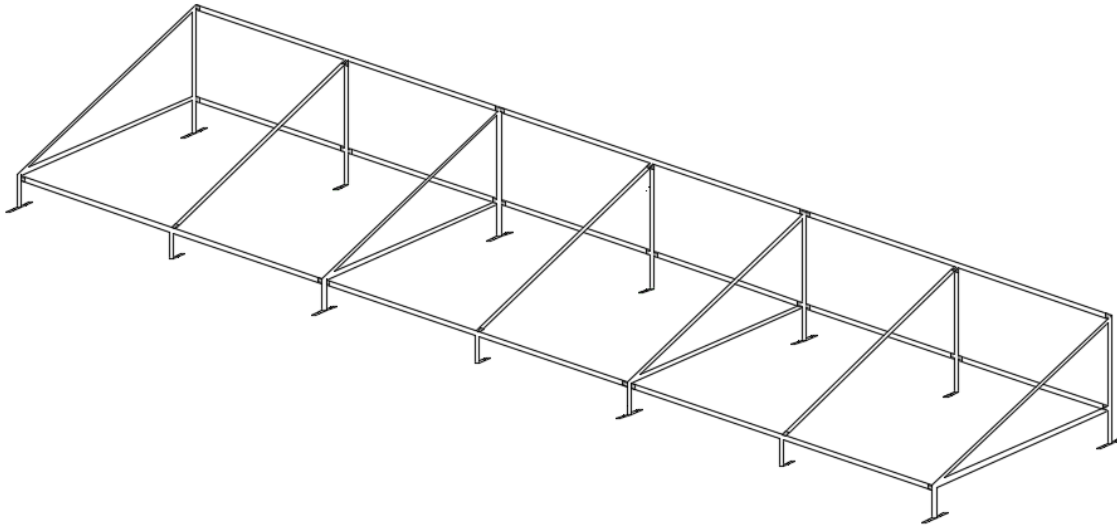


Ilustración 16. Estructura de soporte con 20 grados de inclinación.

Hablando no de inclinación si no de disposición de los paneles se siguen las siguientes recomendaciones:

En instalaciones en las que no hay previstas sombras y se desee minimizar el espacio a ocupar en la superficie se suele elegir la disposición vertical de módulos.



Ilustración 17. Disposición vertical de los paneles solares.

En instalaciones que se prevean sombras horizontales o zonas donde haya mucha fuerza del viento y no haya problemas de espacio, se suele elegir la colocación horizontal de los paneles fotovoltaicos.



Ilustración 18. Disposición horizontal de los paneles solares.

II.7.3 Distancia entre Paneles

Con el fin de evitar pérdidas de rendimientos por sombras producidas por filas de paneles a las posteriores, la distancia d , medida sobre la horizontal, entre una fila de paneles y un obstáculo, de altura h , que pueda producir sombras sobre la instalación, será superior al valor obtenido por la ecuación:

$$d = \frac{h}{\tan(67 - \text{latitud})}$$

$$h = L \sin \beta$$

La altura h es la diferencia de alturas entre la parte alta de una fila de colectores y la parte baja de la siguiente.

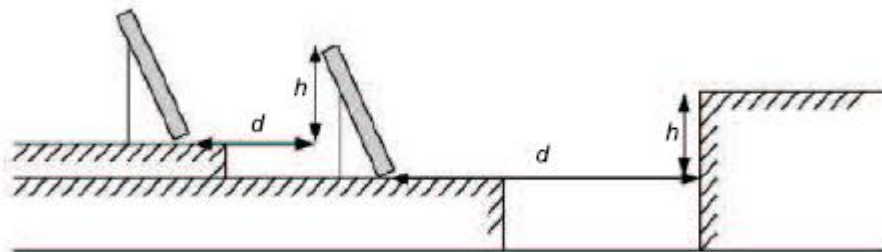


Ilustración 19. Variables que intervienen en la generación de sombras.

Debido a que solo se colocara una fila de paneles no es necesario calcular la distancia para no generar sombras.

II.7.4 Eficiencia de las Células

La ilustración 20 representa la corriente en función de la tensión que aparece en la célula, en ella se pueden apreciar algunos parámetros de funcionamiento de la célula solar. Además, puede apreciarse también la curva de potencia de la célula sobre la misma gráfica.

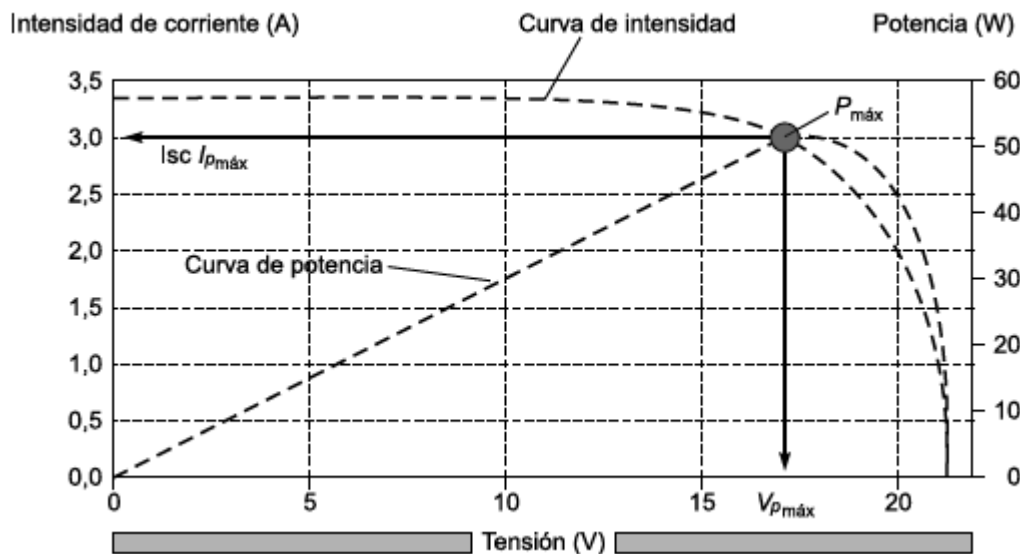


Ilustración 20. Esquema de la corriente en función de la tensión que aparece en la célula.

Los parámetros de funcionamiento de una célula solar, son los que a continuación se detallan:

- La corriente de corto circuito, I_{sc} . Es la corriente que se obtiene de la célula cuando la tensión en sus bornes es de cero voltios; es la máxima corriente que se puede obtener de la célula.
- La tensión de circuito abierto, V_{oc} . Es la tensión para la que los procesos de recombinación igualan a los de generación y, por lo tanto, la corriente que se extrae de la célula es nula; constituye la máxima tensión que se

puede extraer de una célula solar. En las células de Si de tipo medio es del orden de 0.6V mientras que en las de GaAs es de 1V.

- Potencia máxima, P_{max} . La potencia, P , es el producto de la corriente por la tensión; tanto en cortocircuito como en circuito abierto la potencia es 0, por lo que habrá un valor entre 0 y V_{oc} para el que la potencia será máxima y vale $P_{max} = V_{max}I_{max}$.
- Factor de forma, F_F . Que se relaciona con la potencia máxima, la tensión en circuito abierto y la corriente de cortocircuito. El máximo valor que puede tomar F_F es 1.

$$P_{max} = I_{sc}V_{oc}F_F$$

- Eficiencia, η . Expresado en %, es el parámetro por excelencia que define el funcionamiento de la célula solar. Representa la relación entre la potencia que obtenemos de la célula y la potencia de la luz que incide sobre ella.

$$\eta = \frac{I_{sc}V_{oc}F_F}{AP_{sol}} * 100$$

donde P_{sol} es la potencia luminosa por unidad de área que se recibe del sol en forma de fotones (en condiciones estándar, 100 mW/cm^2) y A es el área de la célula.

Para el caso del laboratorio se propone usar paneles solares de 250 watts.

II.8 Aerogeneradores

II.8.1 Partes de un Aerogenerador

Estos sistemas por lo general están compuestos por un rotor, un generador o alternador montado en una estructura, una cola (usualmente), una torre, el cableado, y los componentes del sistema de balance: controladores, inversores y las baterías. A través del giro de los alabes la turbina convierte la energía cinética del viento en un movimiento rotatorio que acciona el generador.

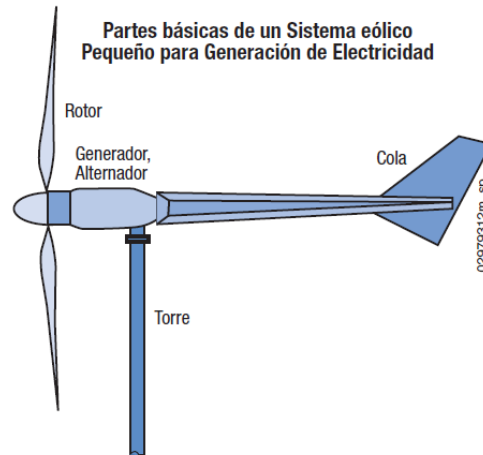


Ilustración 21. Partes más comunes de un aerogenerador.

II.8.2 Potencia de un aerogenerador

La mayoría de fabricantes clasifican a sus equipos de acuerdo a la potencia que en forma segura operan a cierta velocidad de viento. La potencia eólica disponible a través de una superficie de sección A perpendicular al flujo de viento v viene dada por el flujo de energía cinética por unidad de tiempo.

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

$$m = V\rho$$

$$V = Avt$$

$$P = \frac{E}{t} = \frac{mv^2}{2t} = \frac{1}{2}\rho Av^3$$

$$\text{watt} = \text{gkm}^2\text{s}^{-3}$$

Albert Bets (1885-1968), físico alemán publicó en 1919 una teoría que se conoce como ley de Betz en la cual se establece que no puede convertirse más del 16/27 (59.3%) de la energía cinética del viento en energía mecánica mediante una turbina eólica. Por ello la potencia máxima en el rotor de una turbina eólica es:

$$P = \frac{16}{27} \left(\frac{1}{2} \rho A v^3 \right)$$

Se ha encontrado que los rotores más perfeccionados, no superan en general el 70% o 80% de la potencia máxima calculada con la fórmula de Betz. Por ello la potencia de un rotor de una turbina eólica se calcula con la fórmula:

$$P = C_p \left(\frac{1}{2} \rho A v^3 \right)$$

Si sustituimos el área de barrido en función del diámetro nos queda que:

$$P = \frac{1}{2} C_p \rho \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) v^3$$

Para obtener mayor energía es necesario aumentar el diámetro del rotor y elevar el generador para que haya una velocidad del viento mayor.

Los fabricantes presentan curvas de potencia en función de la velocidad del viento del lugar, como se muestra en la siguiente figura.

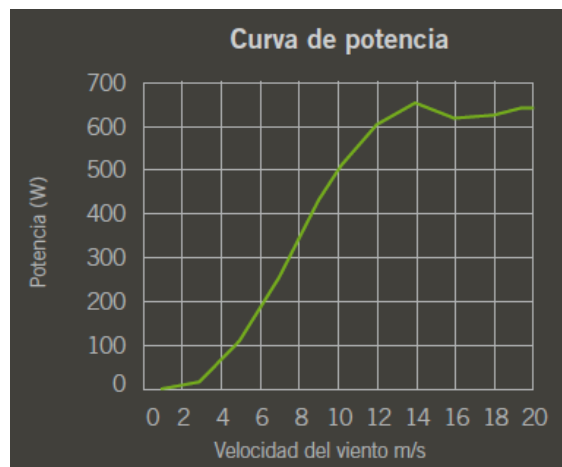


Ilustración 22. Curva de potencia en función de la velocidad del viento.

Una forma de conocer la velocidad media de algún lugar es sacando el promedio de las velocidades que presenta el SMN en los observatorios sinópticos.

PARÁMETROS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA													
MAXIMA EXTREMA	39.3	37.5	38.3	39.2	37.9	36.4	33.2	32.3	39.5	32.0	31.1	38.0	39.5
PROMEDIO DE MAXIMA	27.8	30.0	32.1	32.3	29.5	27.8	27.5	27.0	27.1	27.0	26.2	26.2	28.4
MEDIA	19.3	20.9	22.9	23.9	22.9	22.0	21.3	21.1	21.1	20.4	19.3	18.9	21.2
PROMEDIO DE MINIMA	10.8	11.9	13.7	15.5	16.4	16.2	15.0	15.2	15.0	13.8	12.5	11.6	14.0
MINIMA EXTREMA	5.4	5.4	6.4	10.3	10.8	12.2	9.8	11.0	10.2	8.6	5.1	5.5	5.1
OSCILACION	17.0	18.1	18.4	16.7	13.1	11.7	12.5	11.8	12.1	13.2	13.8	14.7	14.4
TOTAL HORAS INSOLACION	204	137	124	165	197	175	199	184	176	197	190	253	2200
HUMEDAD													
TEMPERATURA BULBO HUMEDO	12.3	12.7	13.4	14.5	16.0	16.8	16.7	17.1	17.4	16.3	14.7	13.0	15.1
HUMEDAD RELATIVA MEDIA	51	47	39	40	48	62	68	67	73	68	60	56	57
EVAPORACION	149	153	215	204	201	146	143	136	136	141	147	143	1914.7
PRECIPITACION													
TOTAL	10.4	5.1	5.0	11.5	62.8	241.9	245.9	225.4	260.7	108.9	14.8	9.1	1201.5
MAXIMA	75.4	40.9	33.0	89.6	245.1	353.1	417.3	471.9	610.9	277.8	77.2	73.6	610.9
MAXIMA EN 24 HRS.	56.8	20.0	31.2	30.0	52.3	72.2	106.9	117.7	82.9	69.7	26.3	41.1	117.7
MAXIMA EN 1 HORA	20.9	5.4	12.2	21.9	45.4	72.2	66.6	76.2	43.5	36.5	14.8	11.7	76.2
PRESION													
MEDIA EN LA ESTACION	840.2	839.5	838.3	838.2	838.5	839.2	840.4	840.2	839.2	839.8	840.0	840.5	839.5
VIENTO MAXIMO DIARIO													
MAGNITUD MEDIA	5.0	6.0	6.9	7.7	7.4	6.2	6.0	6.1	5.6	5.0	5.0	4.6	6.0
FENOMENOS ESPECIALES													
LLUVIA APRECIABLE	1.0	1.3	1.3	2.6	9.5	20.0	20.5	20.0	21.1	10.1	2.7	1.4	111.6
DESPEJADOS	6.0	6.6	7.3	7.3	6.8	5.3	5.3	5.3	4.9	4.5	5.0	5.3	69.7
MEDIO NUBLADOS	18.6	17.3	18.8	16.3	13.2	7.8	10.0	9.4	6.6	12.9	18.6	20.0	169.6
NUBLADO/CERRADO	6.4	4.1	4.8	6.4	11.0	16.9	15.7	16.4	18.4	13.5	6.4	5.7	125.6
GRANIZO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.6
HELADA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TORRENTA ELECTRICA	0.1	0.2	0.3	0.5	1.4	5.6	5.0	4.1	4.8	2.4	0.4	0.0	24.5
NIEBLA	2.3	1.2	0.0	0.1	1.4	3.3	3.3	4.7	6.4	6.5	2.4	1.7	33.0

UNIDADES: TEMPERATURA (°C), HUMEDAD RELATIVA (%), PRECIPITACION Y EVAPORACION (mm), PRESION (mb), VIENTO (m/s) Y FENOMENOS ESPECIALES (dias)

Ilustración 23. Datos climatológicos del observatorio de Cuernavaca.

El promedio de los datos presentado por CONAGUA y el SMN es de 6.5 m/s, en los observatorios las velocidades se miden a una altura de 10 m. Si usamos la curva presentada podemos observar que con 6.5 m/s podríamos obtener 250 watts por ello se seleccionó un generador de 300 watts el cual es el modelo más cercano.

II.9 Sistema de riego a base de energía fotovoltaica

II.9.1 Diseño agronómico

II.9.1.1 Calculo de requerimiento de riego

Para el cálculo de la evapotranspiración se usó el observatorio de Cuernavaca y el programa CROPWAT (software gratuito de la FAO), dando los siguientes resultados.

Tabla 2. Datos climatológicos de la estación Cuernavaca.

Mes	Temp	Temp	Humedad	Viento	Insolación	Rad	Eto
-----	------	------	---------	--------	------------	-----	-----

	Min	Max					
Enero	10.8	27.8	51	2,0	7	15.6	3.91
Febrero	11.9	30.0	47	4	5	14.6	5.68
Marzo	13.7	32.1	39	5	4	14.6	7.31
Abril	15.5	34.8	40	6	6	18.7	8.95
Mayo	16.4	27.8	48	5	6	18.9	6.62
Junio	16.2	27.5	62	4	6	18.8	5.25
Julio	15.0	27.0	68	4	6	18.8	4.85
Agosto	15.2	27.1	67	4	6	18.6	4.85
Septiembre	15.0	27.0	73	4	6	17.9	4.37
Octubre	13.8	26.2	68	4	6	16.4	4.28
Noviembre	12.5	26.2	60	4	6	14.7	4.38
Diciembre	11.6	28.4	56	4	8	16.2	4.89
Promedio	14.0	28.5	56.6	4.2	6.0	17.0	5.40

El valor de Eto máximo es para el mes de abril con un valor de 8.95 mm/día, debido a la alta velocidad del viento.

Para calcular el requerimiento de riego se calculó la precipitación efectiva con el programa CROPWAT, dando los siguientes resultados.

Tabla 3. Precipitación efectiva calculada.

Mes	P (mm)	Pe (mm)
Enero	10,4	10,2
Febrero	5,1	5,1
Marzo	5	5,0
Abril	11,5	11,3
Mayo	62,8	56,5
Junio	241,9	148,3
Julio	245,9	149,2
Agosto	225,4	144,1
Septiembre	260,7	151,1
Octubre	108,9	89,9
Noviembre	14,8	14,4
Diciembre	9,1	9,0

Tabla 4. Datos de Evapotranspiración y Requerimiento de Riego

Mes	Eto (mm/d)	RR (mm/d)
Enero	5,1	4,8
Febrero	5,7	5,5
Marzo	7,3	7,1
Abril	9,0	8,6
Mayo	6,6	4,8
Junio	5,3	0,3
Julio	4,9	0.0
Agosto	4,9	0.0
Septiembre	4,4	0.0
Octubre	4,3	1,3
Noviembre	4,4	3,9
Diciembre	4,9	4,6

El requerimiento máximo de riego es para el mes de abril con un valor de 8.6 mm/día.

a) Lamina de Riego

Considerando un suelo de textura media se encontró que la lámina de riego necesaria es de 8.01 mm.

b) Intervalo de Riego

Después de haberse obtenido la lámina de riego se calcula el intervalo de riego el cual es la relación entre la lámina y el requerimiento máximo, el cual se encontró que para nuestro sistema es de 1 día.

c) Tiempo de riego

El número de horas que se necesitan regar para satisfacer las necesidades del cultivo están en función del gasto y la separación de los emisores, en nuestro sistema se propuso una separación de 30 cm entre goteros y de 1.2 metros entre laterales obteniéndose así que el tiempo de riego es de 2.57 horas que redondeando se podría quedar en 3 horas.

d) Unidades Operacionales

En los sistemas de riego muchas veces se dividen en unidades operacionales para economizar el sistema, esto está en función del número de horas que hay que regar el cultivo y el número de horas que se disponen para regar así se encontró que el número en el que es posible dividir nuestro sistema es de 2.

II.9.2 Diseño Hidráulico

El criterio utilizado es que la variación del gasto no sea mayor al 10% en toda la zona de riego, por lo cual la pérdida de carga permisible en la lateral y en la terciaria es:

$$\Delta h = 0.2h = 0.2 * 6.12 = 1.22 \text{ m}$$

$$\Delta h_l = 0.35 * \Delta h = 0.35 * 1.22 = 0.43 \text{ m}$$

$$\Delta h_T = 0.65 * \Delta h = 0.65 * 1.22 = 0.80 \text{ m}$$

a) Diseño de lateral

DATOS TECNICOS		
Q	1,13	Lph
H	6,12	M
Se	0,3	M
L	25	M
Fe	0,1	M
S	0	%

Tabla 5. Selección de Diámetro

SELECCION DEL DIAMETRO									
Di (mm)	J (m)	F	J' (m)	hf (m)	hl (m)	hn (m)	Δh	Δhl	Descripción
16	0.32	0.38	0.32	0.03	6.14	6.11	0.03	0.43	O.K.
22	0.07	0.38	0.07	0.01	6.13	6.12	0.01	0.43	O.K.

De la tabla 5 se encontró que la lateral quedara con un diámetro de 16 mm y será de cintilla de un gasto de 1.29 lph con una longitud de 25 m.

b) Diseño de terciaria

DATOS TECNICOS		
Ql	215	Lph
Hl	6,17	M
SL	1	M
L	10	M
Fe	0,1	M
S	1,3	%

SELECCION DEL DIAMETRO									
Di (mm)	J (m)	F	J' (m)	hf (m)	hl (m)	hn (m)	Δh	ΔhT	Descripción
18.2	9.84	0.38	9.84	0.37	6.42	6.05	0.37	0.80	O.K.
22.8	3.38	0.38	3.38	0.13	6.24	6.11	0.13	0.80	O.K.
30.5	0.85	0.38	0.85	0.03	6.17	6.13	0.03	0.80	O.K.

De la tabla anterior se encontró que la lateral quedara con un diámetro de 18.2 mm y será de pvc cementante clase 40 con una longitud de 10 m.

c) Diseño de secundaria

DATOS

Q	2150	lph
H	6,12	m
L	50	m
S	0	%

Di (mm)	v (m/s)	vperm (m/s)	hf (m)
18.2	2.30	2.30	16.56
30.5	0.82	2.30	1.43
39.1	0.50	2.30	0.44
45.9	0.36	2.30	0.20

De la tabla anterior se encontró que la lateral quedara con un diámetro de 30.5 mm y será de pvc cementante clase 40 con una longitud de 5 m.

Para dar una idea más clara del sistema de riego se muestran las tuberías por las que va a estar compuesto el sistema, previamente diseñado.

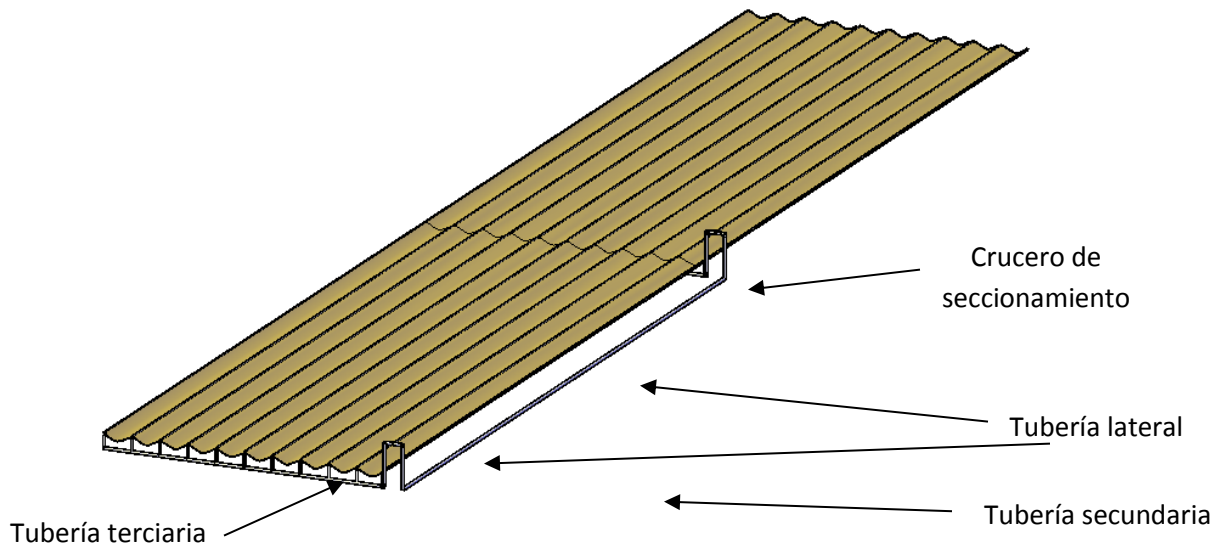


Ilustración 24. Esquema del sistema de riego con energía fotovoltaica.

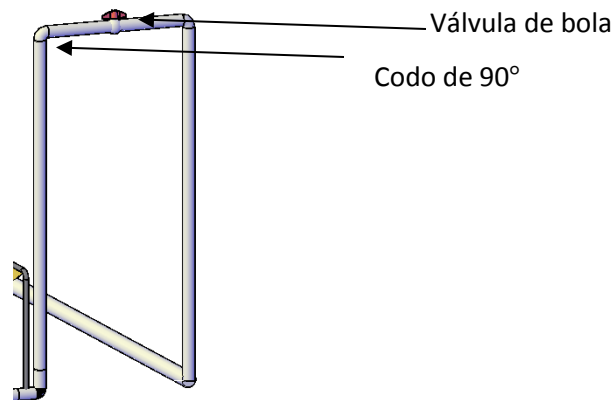


Ilustración 25. Acercamiento del Crucero de seccionamiento.

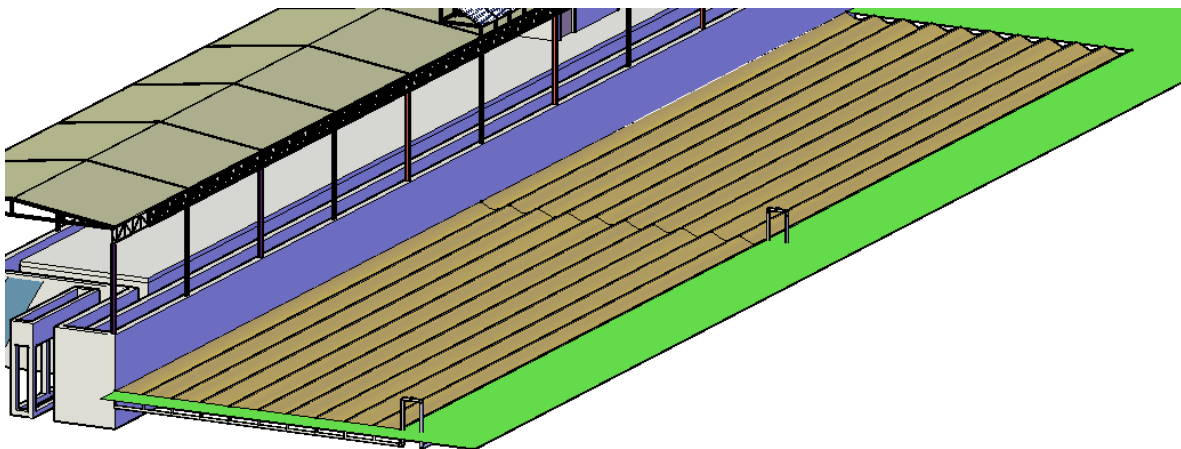


Ilustración 26. Esquema de Localización del sistema de riego en el laboratorio de energías renovables.

d) Diseño de la bomba

Carga total

$$H = h_T + h_s = 6.77 + 1.43 + 1.84 = 10.03 \text{ m}$$

$$H_T = 1.1H = 1.1 * 10.03 = 11.04 \text{ m}$$

$$H_T = 11 \text{ m}$$

Gasto total

$$Q_T = 2150 \text{ lph} = 0.22 \text{ m}^3/\text{h}$$

La bomba a utilizar es la siguiente:

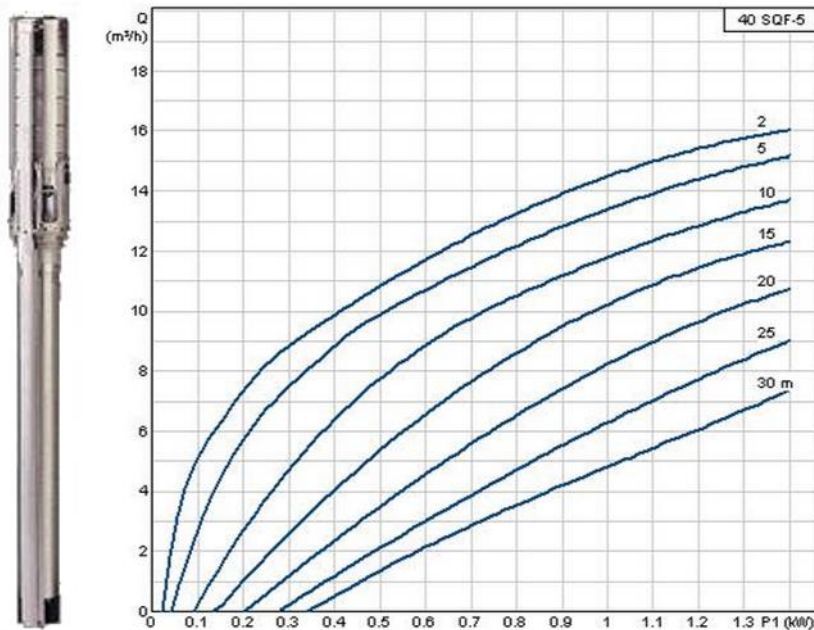


Ilustración 27. Curva de potencia para la bomba a utilizar.

Se entra a la curva de la bomba con el gasto y la carga que se desea satisfacer, con lo cual se obtuvo que se necesitan 0.20 kW es decir 200 W.

II.9.3 Diseño Energético

II.9.3.1 Principio fotoeléctrico

La base sobre la cual se fundamentan los actuales sistemas fotovoltaicos comerciales es el denominado principio fotoeléctrico, mediante el cual las radiaciones de la luz solar se transforman en energía eléctrica, este efecto se origina mediante celular fotoeléctricas o células fotovoltaicas las cuales son la unidad básica que componen los módulos solares.

las células fotovoltaicas son producidas a partir de silicio monocristalino, este dispositivo electrónico permite transformar la energía lumínica (fotones) en energía eléctrica (flujo de electrones libres) mediante el efecto fotoeléctrico, generando energía solar fotovoltaica. Las celdas están compuestas de silicio

tipo N^2 en la capa superior, en la capa inferior contienen silicio tipo P^3 , estas capas presentan un efecto fotoeléctrico, es decir, absorben fotones de luz y emiten electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad.

II.9.4 Selección de módulos solares

Estos dispositivos son los encargados de captar la radiación solar y transformarla en electricidad generando una corriente continua (CC), también llamada corriente directa (DC), el número de paneles solares quedará determinado por la potencia que se necesita suministrar, su disposición y conexión (en serie o en paralelo), será en función de la tensión nominal de suministro y la intensidad de corriente que se desee generar.

Los módulos solares LDK-240W-20 Monocristalinos ofrecen:

- Calidad y certificaciones de seguridad bajo las normas ISO 9000 e ISO 9001.
- Durabilidad y la seguridad.
- Alta fiabilidad con garantía de 0/ +5 W de potencia pico.
- Excelente rendimiento en entornos con poca luz.

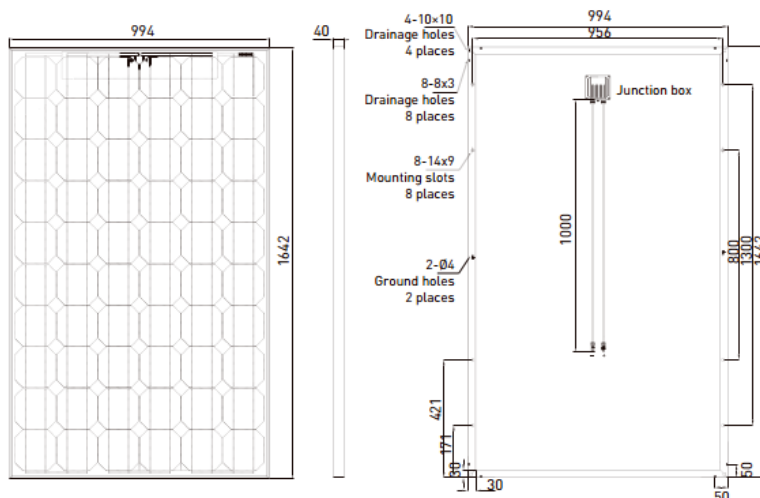


Ilustración 28. Dimensiones de los Módulos Solares LDK-240D-20.

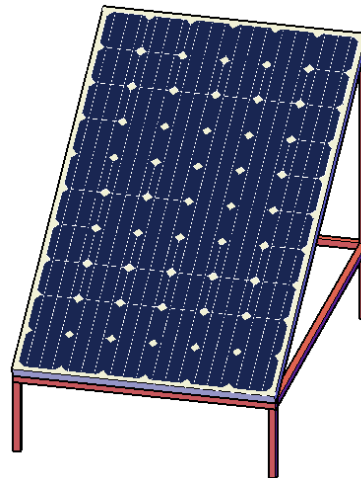


Ilustración 29. Apariencia del módulo solar LDK-240D-20, con soporte metálico.

Tipo	200 D-20	205 D-20	210 D-20	215 D-20	220 D-20	225 D-20	230 D-20	235 D-20	240 D-20	245 D-20	250 D-20
Potencia nominal (P _{máx}) [W]	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250
Potencia mínima garantizada [W]	194	198.85	203.7	208.55	213.4	218.55	223.1	227.95	232.8	237.65	242.5
Clasificación de potencia Flash Test	0/+5 W	0/+5 W	0/+5 W	0/+5 W	0/+5 W	0/+5 W	0/+5 W	0/+5 W	0/+5 W	0/+5 W	0/+5 W
Tensión a P _{máx} (V _{mp}) [V]	29.5	29.7	29.9	30.6	31.2	31.5	31.8	32.0	32.2	32.4	32.6
Corriente a P _{máx} (I _{mp}) [A]	6.78	6.91	7.02	7.03	7.05	7.15	7.23	7.35	7.45	7.56	7.67
Tensión de circuito abierto (V _{oc}) [V]	36.1	36.4	36.6	36.7	36.9	37.0	37.2	37.2	37.3	37.4	37.5
Corriente de cortocircuito (I _{sc}) [A]	7.68	7.73	7.78	7.90	8.01	8.11	8.21	8.30	8.39	8.48	8.57
Tensión máxima del sistema	IEC: 1000 V / UL: 600 V										
Corriente máxima de fusible serie	12A										
Eficiencia de célula [%]	14.37	14.74	15.09	15.46	15.81	16.18	16.56	16.90	17.25	17.51	17.93
Eficiencia de módulo [%]	12.25	12.56	12.87	13.17	13.48	13.79	14.09	14.40	14.70	15.01	15.32

STC* (Condiciones Estándar de Medida): Irradiación 1000W/m², Temperatura del módulo 25°C, Distribución espectral AM 1.5

Tipo	200 D-20	205 D-20	210 D-20	215 D-20	220 D-20	225 D-20	230 D-20	235 D-20	240 D-20	245 D-20	250 D-20
Potencia nominal (P _{máx}) [W]	145	149	152	156	159	163	167	170	174	178	181
Tensión a P _{máx} (V _{mp}) [V]	25.3	25.8	26.1	26.3	26.5	26.8	27.1	27.3	27.7	28.0	28.2
Corriente a P _{máx} (I _{mp}) [A]	5.74	5.78	5.84	5.93	6.01	6.09	6.16	6.23	6.28	6.36	6.41
Tensión de circuito abierto (V _{oc}) [V]	33.2	33.5	33.7	33.8	34.0	34.1	34.3	34.3	34.3	34.4	34.5
Corriente de cortocircuito (I _{sc}) [A]	6.22	6.26	6.30	6.40	6.48	6.57	6.65	6.72	6.79	6.87	6.94

NOCT: Irradiación 800 W/m², Temperatura del módulo 45± 2 °C, Distribución espectral AM 1.5

Tipo	Serie LDK-D-20
NOCT**	45±2 °C
Coefficiente de temperatura de P _{máx}	-0.47 % / °C
Coefficiente de temperatura de V _{oc}	-0.34 % / °C
Coefficiente de temperatura de I _{sc}	0.06 % / °C
Temperatura en funcionamiento	-40°C to +85°C

NOCT**: Temperatura nominal de la célula en funcionamiento al sol 800W/m²; Aire 20°C; Velocidad del viento 1m/s

Ilustración 30. Características eléctricas de los Módulos Solares LDK-240W-20.

II.9.5 Pruebas eléctricas de los módulos fotovoltaicos

En la práctica, lo usual es que un módulo solar produzca una determinada corriente eléctrica que fluye a través del circuito externo uniendo los bornes del mismo, este posee una determinada resistencia (R), que define la característica eléctrica del circuito.

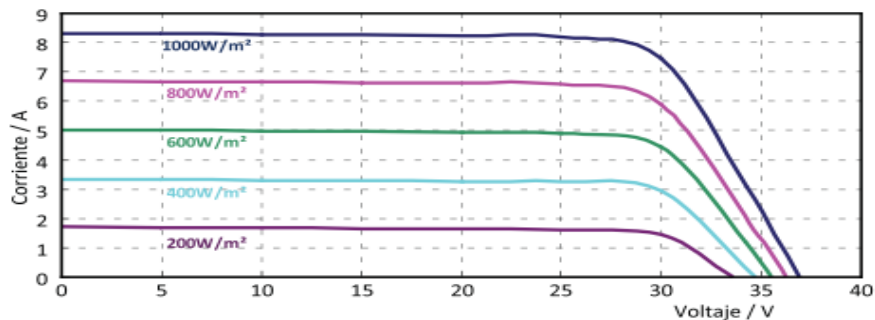


Ilustración 31. Curva intensidad (I) vs voltaje (V) otorgada por el fabricante.

La intersección con la curva del módulo, fija el voltaje de operación del mismo y, en consecuencia, la intensidad que ese entrega al circuito. Si la diferencia de potencial entre los bornes es el voltaje (V), decimos que la corriente de intensidad (I) se produce a un voltaje (V) conocido, en este caso nuestra intensidad a potencia máxima (I_{mp}) que se puede obtener de un panel solar es de 7.45 Amperes, a una tensión potencia máxima (V_{mp}) de 32.2 voltios.

La eficiencia de los módulos solares, es un porcentaje de energía en forma de luz que incide sobre el panel convirtiéndose en electricidad. La eficiencia de la célula solar no es igual a la eficiencia del panel. La eficiencia del panel es generalmente de 1 a 3% inferior a la eficiencia de células solares debido a la reflexión de vidrio, marco de sombra y a las temperaturas más altas y bajas del lugar de instalación, etc.

El rendimiento es la tolerancia de potencia, que indica el rango de potencia nominal que el fabricante puede garantizar. Por ejemplo, una tolerancia final -3% inferior significa que la potencia pico real podría ser 3% inferior a la potencia nominal indicada. Los coeficientes de temperatura más comunes están disponibles en la siguiente gráfica, y deben considerarse como parámetros importantes en la etapa de diseño de los sistemas fotovoltaicos.

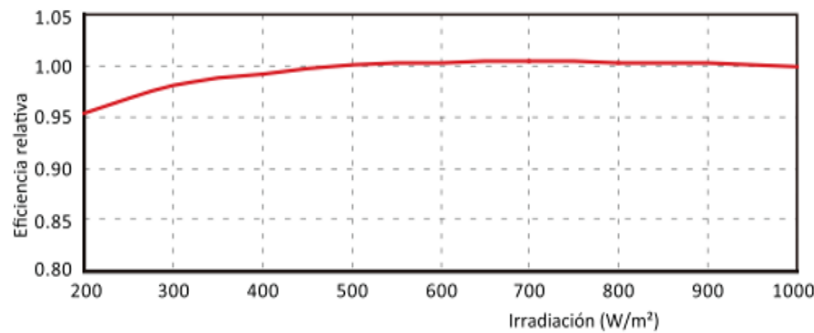


Ilustración 32. Curva de rendimiento del panel solar.

II.9.6 Agricultura Vertical bajo Leds

La Agricultura Vertical (AV) se presenta como una respuesta posible a la demanda de alimentos en un mundo con crecientes niveles de urbanización, pobreza y desempleo. La AV se entendía como aquella agricultura llevada a cabo en pequeñas superficies como solares, balcones, terrazas, jardines o parcelas comunitarias, ubicadas dentro de los límites o en los alrededores de las ciudades de todo el mundo y están destinadas a la producción de cultivos y la cría de ganado menor o vacas lecheras para el consumo propio o para la venta en mercados locales.

Hasta hace algunos años, se amplió el concepto a la idea de la agricultura vertical, la cual consiste en la creación de enormes edificios vidriados, con invernaderos en cada nivel, donde se cultiva vegetales o se crían animales dentro de áreas urbanas.

La propuesta que se tiene para este proyecto de Energías Renovables es realizar agricultura bajo techo, sin sol, es decir, la luz natural será reemplazada por lámparas LED y el ambiente dentro podrá ser controlado.

Se trata, fundamentalmente, de un proyecto de granja vertical iluminada con Leds, cuyo objetivo es iluminar las plantas en función de sus necesidades.

Además de un ahorro energético, se conseguirá un menor impacto ambiental, al usar LED'S y sabiendo que son luces frías pueden **acercarse más** a las plantas para lograr un mayor aprovechamiento y una iluminación regular.

Para aportar riego al cultivo se puede utilizar un sistema de riego por goteo o por exudación. La energía se recibirá de los paneles solares, se instalara un sistema de riego con el cual se permitirá el reciclaje del agua aumentando la eficiencia en la utilización del agua, lo que implica que solo es necesario ir sustituyendo la cantidad que las plantas utilizan, así como las perdidas por evaporación.

La idea consiste no solo en generar un espacio apto y controlado para el cultivo de frutas, verduras, sino que este sea sustentable. El agua se escurre en los moldes cuando se necesita, cualquier exceso se recicla, y la temperatura es constante. Las luces se encienden y apagan, simulando el día y la noche, pero de acuerdo al ritmo de la planta.

Este proyecto presenta las siguientes ventajas.

- Permite cultivar a diferentes alturas, lo que permite un mayor aprovechamiento del espacio y por lo tanto una mayor producción.
- Se reciclan los propios desechos de los cultivos.
- Ambiente controlado.
- Se recicla el agua, recurso que se vuelve cada vez más escaso en el planeta.
- Se reducen los costos del transporte campo-ciudad.
- Se asegura la producción de alimento durante todo el año en ambientes controlados.
- No hay riesgos ambientales importantes como: sequia, exceso de lluvia, incidencia de plagas y enfermedades.
- Se crean nuevas oportunidades de trabajo dentro de las ciudades.

La única desventaja que tiene esta técnica es la iluminación, ya que las plantas necesitan ciertas horas de radiación solar y si ubicas una planta sobre otra, la de abajo recibe menos cantidad de luz. Por lo tanto, en dicho laboratorio se realizara una mezcla de cultivos, ubicando en la parte superior los que requieran más luz o los que casi no la requieran.

Otra desventaja podría ser la inversión inicial para la infraestructura necesaria para llevar a cabo esta tecnología, ya que utiliza sensores, controles y LED'S.

II.9.6 1 Luz en las plantas

La luz, que influye sobre los organismos, proviene directa o indirectamente casi exclusivamente del Sol. La luz provee de la energía necesaria a las plantas para la fotosíntesis, con la cual se produce la materia orgánica para su crecimiento y desarrollo.

La fotosíntesis es el proceso mediante el cual las plantas combinan el dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera con el agua y producen materia vegetal, emitiendo al ambiente oxígeno (O₂). Este proceso de las plantas depende de la intensidad y de la calidad de la luz. A mayor intensidad aumenta la fotosíntesis hasta un cierto nivel.

Una buena iluminación en las plantas depende de:

- **La Duración o El fotoperiodo:** Que es el tiempo en el que las plantas reciben la luz, y puede determinar cambios en sus funciones biológicas como su reproducción, germinación y desarrollo.

El desarrollo de las plantas puede ser activado o no dependiendo del número de horas de luz recibidas. Algunos árboles necesitan un número determinado de horas de luz al día para crecer y poder reproducirse generando flores, pero cuando llega el otoño los días son más cortos, y al no recibir las horas de luz que necesitan, su crecimiento se detiene y entran en una fase de reposo.

Varias actividades de las plantas, como la producción de flores, están determinadas por la duración del día; por esta razón las plantas se pueden clasificar a partir de sus respuestas al fotoperiodo. Las plantas de días cortos florecen solo en días cortos o la producción de flores es acelerada en días cortos (con menos de 12 horas de luz: maíz, algodón, crisantemos, dalias, etc.).

Las plantas de días largos florecen solo en días largos y la producción de flores es acelerada en días largos (con más de 12 horas de luz: trigo, espinaca, lechuga, arvejas, etc.). También existen plantas que no responden al

fotoperiodo, estas plantas son llamadas plantas neutrales al día y florecen por otros mecanismos (como el girasol).

- **Intensidad de luz:** Esta se mide en luxes (lx.). El lux es la unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades para la iluminancia o nivel de iluminación.

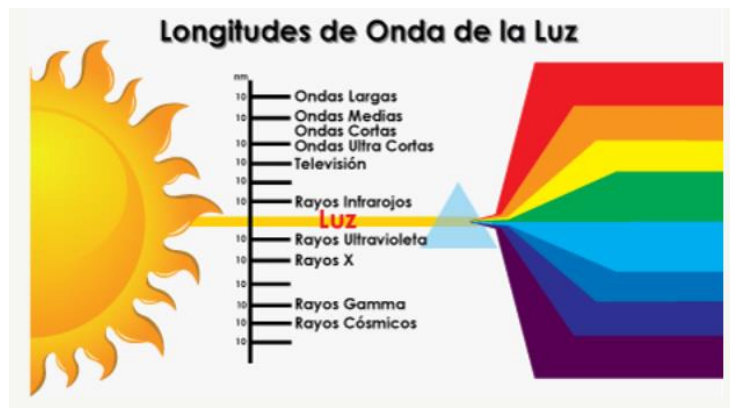
No todas las plantas responden igual a la intensidad de luz, el hecho de que una planta sea de días largos no quiere decir que deba estar en un lugar donde la intensidad de luz es de 100,000 lx (luz del sol en un día despejado), algunas plantas de días largos como el jitomate y la lechuga se desarrollan mejor entre 10,000 y 40,000 lx, por lo que colocar una protección, como un plástico lechoso o una malla sombra en un invernadero, para disminuir la intensidad de luz es muy importante.

Niveles óptimos de iluminación para algunos cultivos		
Especie	Int. Luz (lux)	Duración
Tomate	10000-40000	Día intermedio
Lechuga	12000-30000	Día largo
Clavel	15000-45000	Día intermedio
Rosa	100000	Día intermedio
Crisantemo	75000-95000	Día corto

- **Calidad de la luz:** Depende de la longitud de onda (se mide en metros (m), que es la distancia existente entre dos crestas o valles consecutivos en una onda de luz. y es un factor que tenemos que tomar en cuenta en caso de que queramos iluminar artificialmente una planta.



La luz, al igual que las ondas de radio, los rayos X o los gamma es una forma de energía. No toda la luz emitida por una fuente llega al ojo y produce sensación luminosa. Dependiendo de la longitud de onda es como se clasifica la luz y la podemos dividir en tres categorías: Luz ultravioleta (UV), luz visible y luz infrarroja.



La planta reconoce las ondas de luz en el fotoperiodo (duraci3n del d3a), por medio de receptores que env3an se3ales a la planta para que comience la producci3n de las flores.

Tipo de planta	Receptores	Onda de luz que reconoce
De días largos	Fitocromos	Luz roja
De días cortos	Fotorreceptores	Luz azul

La luz es esencial para el desarrollo de las plantas, mientras que la falta de luz suficiente da como resultado un mal crecimiento de la planta, el exceso de luz puede también ser nocivo.

Signos de una mala iluminación en un cultivo	
Exceso de luz	Falta de luz
Las hojas se arrugan y los bordes se tornan marrones o surgen manchas pardas por quemaduras.	Las hojas se ponen amarillas y caen.
Hojas pequeñas, pierden el color verde para hacerse demasiado blanquecinas.	Las plantas apenas florecen y cuando lo hacen, las flores suelen tener un desarrollo incompleto o son demasiado pequeñas y suelen caer antes de florecer.
Las plantas se ponen "tristes" (pierden vigor) en las horas más calurosas del día.	Las plantas desarrollan tallos casi sin color, demasiado largos y delgados con poca vitalidad con una gran distancia entre los entrenudos.
Orientan las hojas hacia el sentido contrario de la luz.	Su crecimiento es más despacio y débil.

El sol emite tres tipos diferentes de rayos ultravioleta, clasificados de acuerdo a la longitud de onda de los rayos emitidos: UV-A (380-315 nm), UV-B (315-280 nm) y UV-C (280-10 nm). El 99% de la luz ultravioleta que llega a la tierra es del tipo UV-A. Este tipo de rayos es el menos dañino para los organismos vivos.

Los estudios revelan que las plantas expuestas a rayos de luz UV-A, es decir al eliminar completamente las emisiones de los tipos UV-B y UV-C, las plantas tienen un mayor crecimiento.

El control del fotoperiodo es habitual en los cultivos que buscan regular la floración. Para dicho fin, existen diferentes tipos de lámparas, cada una de ellas caracterizada por tener una particular composición espectral, comparada con la luz solar.

La elección de un buen equipo de iluminación artificial es esencial. Se utilizan focos de 200W hasta 400W procurando que estén a una distancia no mayor a 40 centímetros alejado de las plantas.

Algunas luces blancas son más amarillentas o azuladas que otras y esto se debe a que en la combinación de colores predomina más uno de ellos.

Existen muchos tipos de lámparas para iluminación y cada una se caracteriza por tener una particular composición espectral comparada con la luz solar. La capacidad de las plantas para detectar cambios en la proporción de los distintos espectros hace que la respuesta sea diferente en cada caso.

Por ello, no todas las fuentes lumínicas tienen el mismo efecto en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Para inducir la floración en plantas de día largo, proporciones de luz roja y rojo lejano, cercanas a 1, son las más efectivas. Ésta es la proporción que encontramos en la luz solar.

El uso de tubos fluorescentes, lámparas de bajo consumo y lámparas de sodio de alta presión, generalmente retrasan la floración debido a que la relación entre los dos espectros mencionados (rojo / rojo lejano) es muy superior, llegando a valores de 6 o 7 veces la correspondiente a la luz solar. Otros efectos observados en plantas cultivadas con este tipo de luces son la reducción en la altura y el acortamiento de entrenudos.

En comparación con la luz solar, los tubos fluorescentes y las lámparas de bajo consumo tienen un espectro amplio, pero menores proporciones de luz verde y de luz roja. Las lámparas de sodio de alta presión tienen muy poca luz azul y una alta proporción de luz verde. Estas tres fuentes lumínicas son deficientes en luz rojo lejano.

Por otro lado, las lámparas incandescentes son deficientes en luz azul y verde, con una alta proporción de luz roja y una mayor proporción de luz rojo lejano, por lo que la relación entre estas dos últimas está por debajo de la luz solar.

Una mención especial debe hacerse respecto a las luces LED (del inglés: light emitting diodes). Éstas pueden diseñarse para emitir un ancho acotado del espectro y permiten generar combinaciones adecuadas para el crecimiento y el desarrollo de las plantas. No producen calor excesivo, consumen poca energía y tienen una prolongada vida útil. La utilización de este tipo de fuentes lumínicas en la producción de plantas es aún incipiente en nuestro país, pero presentan un futuro promisorio.

La importancia de estos estudios es que se puede controlar el crecimiento de las plantas al controlar las emisiones de luz de cada color que se reciben y los diodos emisores de luz (LED) pueden jugar un factor importante en el desarrollo de esta rama de la tecnología.

Los LED tienen como principales ventajas contra otras tecnologías su reducido costo y la casi nula necesidad de mantenimiento, además de que se puede controlar la emisión de cada color de luz, al existir LED especialmente desarrollados para emitir luz de los tipos más importantes para el desarrollo de las plantas (Azul, rojo, infrarrojo y ultravioleta).

Los avances de la tecnología permiten producir alimentos de alta calidad en ambientes cerrados. A través de la computadora, el software y las nuevas tecnologías, se pueden controlar todas las variables que inciden en el desarrollo de las plantas como la luz, temperatura, humedad, CO₂ y nutrición, entre otros, lo que permite un mejor uso de los recursos y al mismo tiempo se logra una mayor productividad en un ambiente más favorable para el crecimiento de las plantas.

Esto es una alternativa viable a la producción intensa de alimentos, de igual manera por plagas, enfermedades, falta de recursos humanos para poder trabajar, y un sinnúmero de problemas que afecta la producción de alimentos y desemboca en la poca y mala calidad de los productos.

Será muy difícil hacer crecer el trigo, el maíz y el arroz, los cuales proporcionan la mayor parte de nuestras calorías, en una granja vertical porque se necesita acumular una enorme cantidad de biomasa para esos cultivos. Las cosechas que pueden ser cultivadas son cosechas de alto valor nutritivo, tales como los tomates, las lechugas y otros tipos de alimentos verdes.

Las granjas verticales pueden ser sostenidas en edificios que se encuentren abandonados, para así darles un uso positivo, generar empleos, seguridad alimentaria e infraestructura.

Después del análisis realizado se puede enfocar el desarrollo del “Proyecto de una Granja Vertical para el Cultivo de Hortalizas, Plantas Medicinales y Aromáticas”.

El diseño debe cumplir con las siguientes dimensiones finales de acuerdo con el espacio otorgado:

Altura: 3 mts; Largo: 43 mts; Ancho: 4 mts



Ilustración 33. Área destinada para la realización del Laboratorio de Energía Renovable.

II.9.3 Primeras ideas generales del diseño

Son de madera y llevan un recubrimiento de geotextil en el interior para contener la tierra y preservar la madera. Ideales para cultivar aromáticas, tomates cherry y verduras de hoja pequeña.

Dimensiones

Ocupa un espacio de 1 x 1mts y una altura de 1.5 mts.

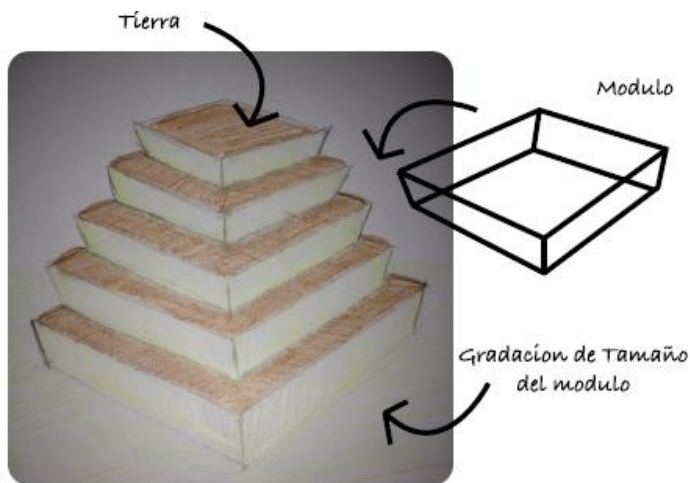


Ilustración 34. Propuesta 1.

El elemento principal son caños de PVC, ideal para plantas no muy grandes.

Dimensiones

Ocupa un diámetro de 8" (0.203 mts) y una altura de 2.5 mts.



Ilustración 35. Propuesta 2.

Consiste en una graja vertical compuesta de varios niveles. En cada se pueden cosechar desde varias plantas, ideal para hortalizas de hojas angostas y poco profundas.

Dimensiones

Básicamente son estantes, de dimensiones 1 X 3 mts. Altura de 2.5 mts.



Ilustración 36. Propuesta 3.

Teniendo en cuenta los prototipos podemos dar una primera idea de cómo se llevara a cabo dicho proyecto; a continuación se presenta una primera idea con

los prototipos correspondientes en dicha área donde se llevara a cabo el proyecto:

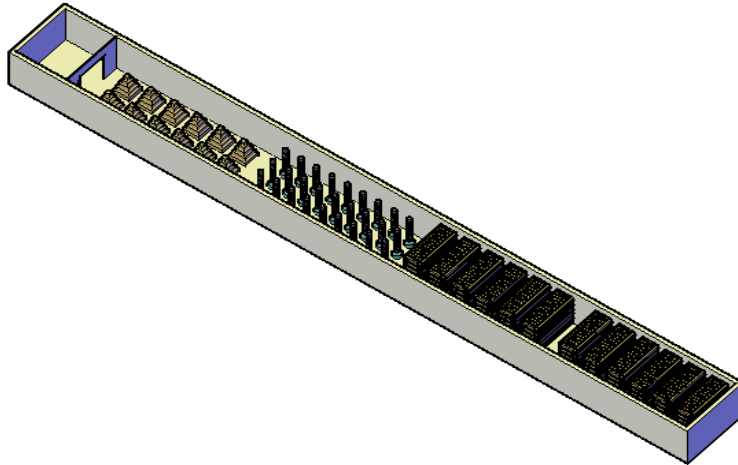


Ilustración 37. Laboratorio de Agricultura Vertical

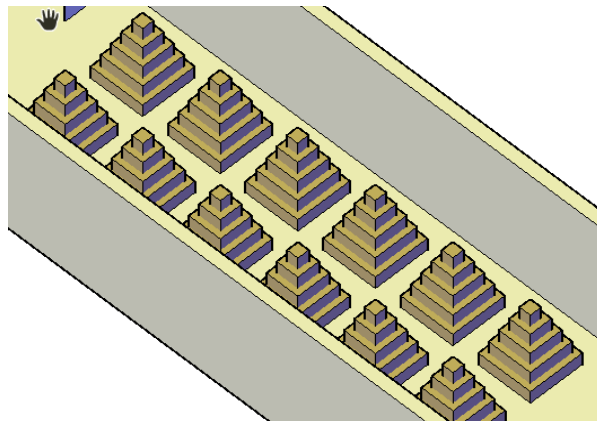


Ilustración 38. Prototipo 1.

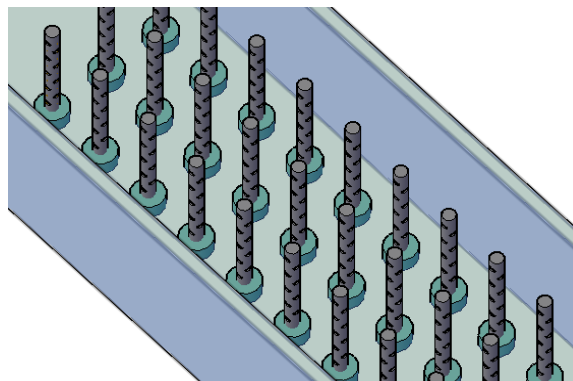


Ilustración 39. Prototipo 2.

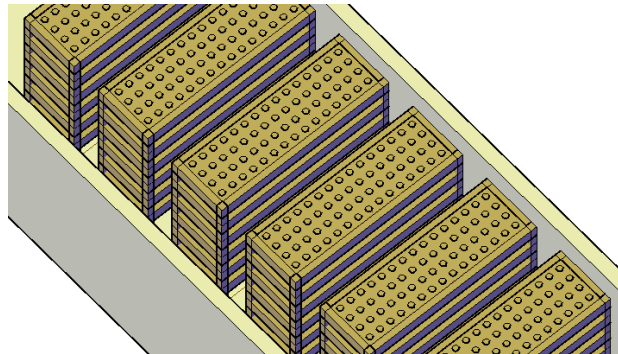


Ilustración 40. Prototipo 3.

Básicamente se puede ver cómo quedaría la granja vertical, dentro se pretende tener una pequeña oficina de dimensiones 3 x 4 mts. Para llevar el registro y control de la granja, así como también se tendrá los materiales necesarios que se ocuparan dentro de la misma.

Los pasillos dentro de la granja son de un metro con el fin de tener un espacio apto para la circulación del personal.

El prototipo 1 consta de pirámides (dimensiones descritas anteriormente) con 5 niveles en las que se pretende sembrar plantas aromáticas, la forma del riego podría ser manualmente haciendo uso de regaderas o instalar aspersores.

En el prototipo 2 se tiene las torres de tubería de PVC (dimensiones escritas anteriormente), en la parte de abajo se localiza un depósito circular, en la cual se usaría para tener un riego sub-superficial o podría tenerse un riego manual y el depósito usarse para captar el agua y recircularse. Básicamente es para cultivos de hojas chicas, por ejemplo lechugas, y se podrían cosechar de 18 a 20 lechugas en cada tubo.

En el prototipo 3 se tienen estantes (dimensiones escritas anteriormente), la cual consta de 6 niveles y se podrían tener hortalizas, en cada estante se tienen aproximadamente 60 plántulas que multiplicado por los niveles se tendrían 360 plántulas por cada estante.

II.9.4 Propuesta de oficinas para la operación del laboratorio

II.9.4.1 Diseño Arquitectónico

Se propusieron 4 oficinas, una en donde se encontrara el encargado o encargados del laboratorio, la segunda es para los trabajadores del laboratorio, la tercera es para armado de dispositivos de energía renovable y la última oficina es para alojar aparatos como el desalinizador y un servidor.

Enseguida se muestra como se verían las oficinas una vez construidas, el edificio se realizó en el programa Revit 2016 si se desean ver más detalles se pueden consultar los archivos anexos.

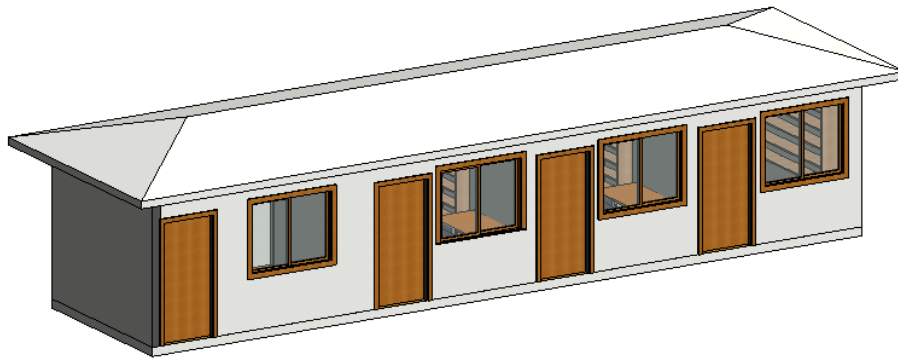


Ilustración 41. Vista general de las oficinas.



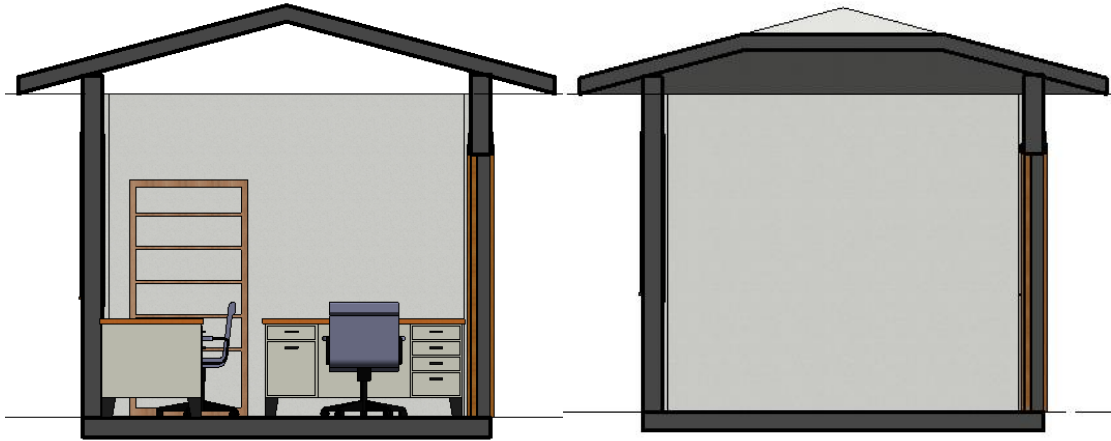
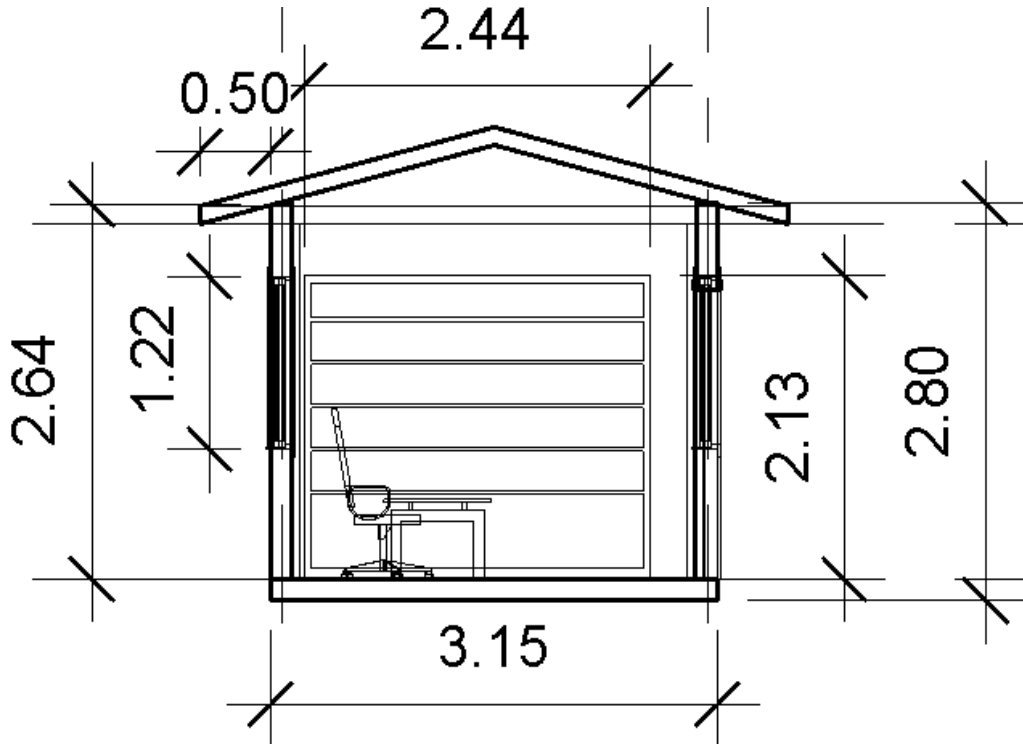
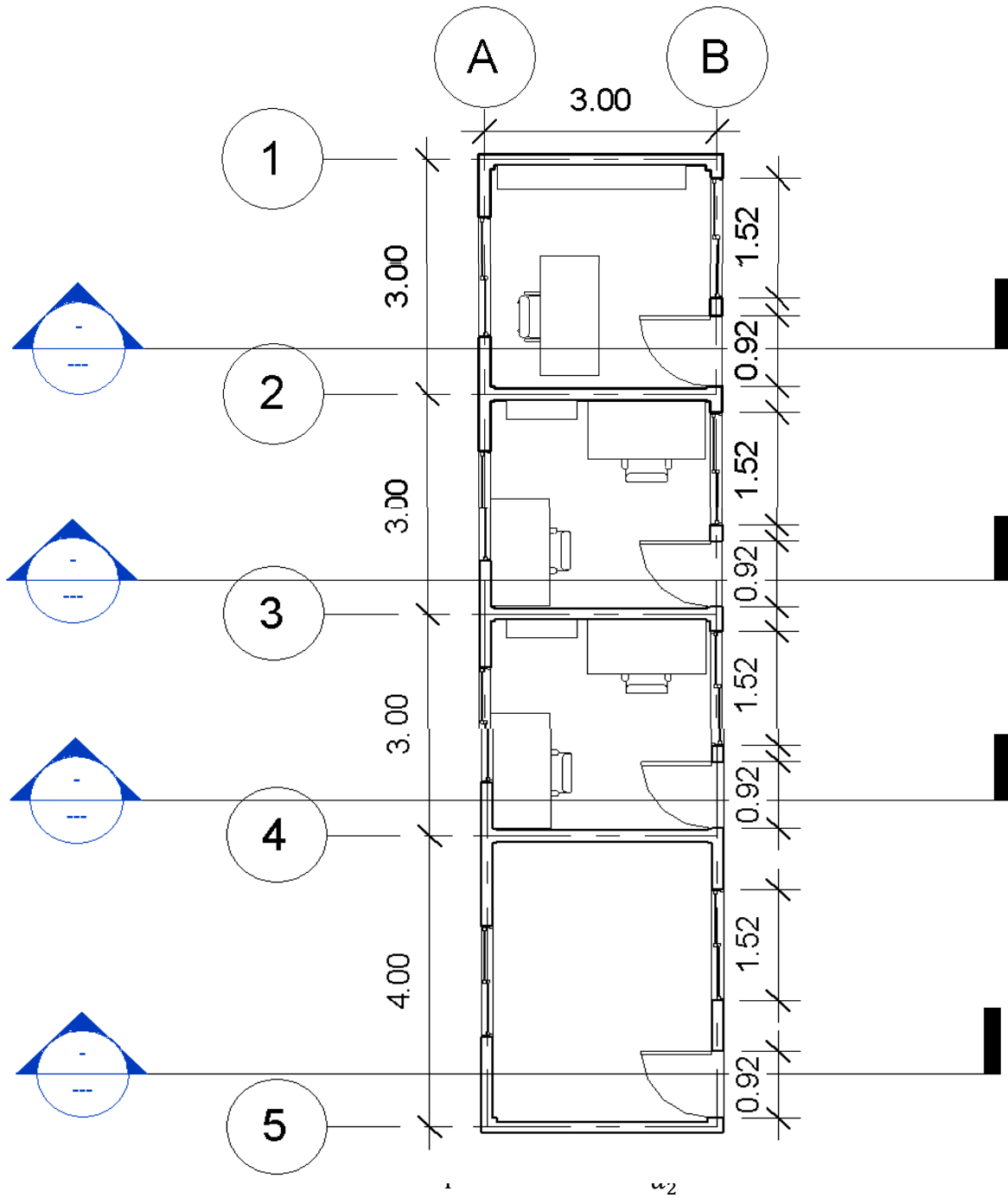


Ilustración 42. Secciones de las 4 oficinas.

Para un mayor entendimiento enseguida se muestran las medidas propuestas para las oficinas, las medidas de puertas, ventanas y mobiliario pueden cambiar dependiendo del proveedor.





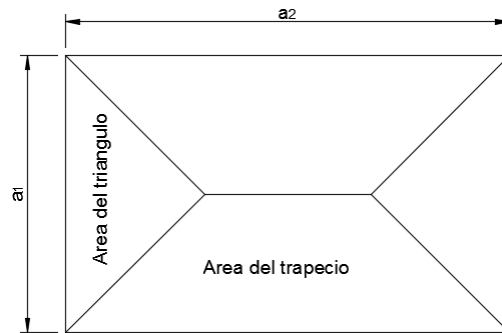


Ilustración 43. Distribuciones típicas de un tablero en una losa.

En la ilustración 44 se muestran los 4 tableros por los cuales esta compuesta nuestra estructura.

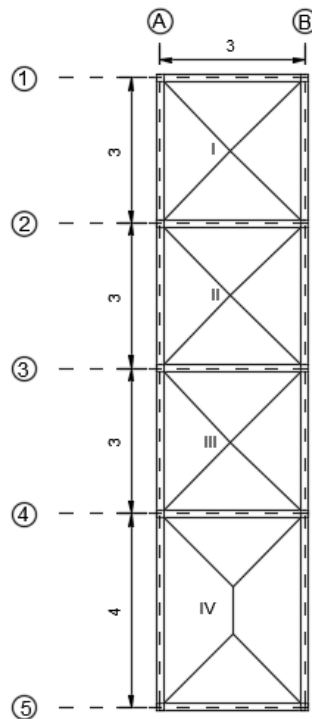


Ilustración 44. Tableros que conforman el edificio.

II.9.5.2 Calculo de momentos

Para el cálculo de los momentos se usó el método propuesto por el RCDF el cual consiste en determinar qué tipo de tablero se va a diseñar para poder seleccionar sus factores correspondientes.

Al calcular los momentos, se encontró que un espesor de 12 cm de losa es suficiente para soportar las cargas.

II.9.6 Diseño del acero

En el caso de la losa se llegó a que es suficiente con colocar una parrilla uniforme de varillas del #3 a una separación de 20 cm para soportar las cargas, que es la que corresponde al área de acero para losas a la intemperie, el acero proporcionado por esta parrilla produce un momento resistente mayor a todos los momentos, por lo cual se comprueba que es correcto el acero seleccionado.

II.9.6.1 Doblado de la varilla

Para el armado de la losa se deben tomar en cuenta algunos aspectos constructivos, de los cuales el más importante es el de garantizar que el acero se coloque en la zona donde se produzcan esfuerzos de tensión bajo el efecto de las cargas. Para ello se disponen dobleces del refuerzo denominados columpios, de tal manera que la varilla debe estar colocada en el lecho superior de la losa en zonas sobre apoyo y en el lecho inferior en los centros de los claros.

Se acostumbra configurar la parrilla en cada dirección con pares de varillas conformados por una varilla recta por el lecho inferior y la siguiente doblada con los columpios mencionados. De esta manera se pierde una varilla que debía ir sobre apoyo en zona de momento negativo. Para compensar esta situación se disponen bastones en esas zonas. Así, es posible subsanar lo perdido. En cuanto al doblado de la varilla se toman en cuenta distancias del pano del apoyo al punto de inflexión equivalentes a un séptimo del claro en bordes discontinuos, un quinto del claro en bordes interiores y un cuarto del claro para localizar el extremo de bastones.

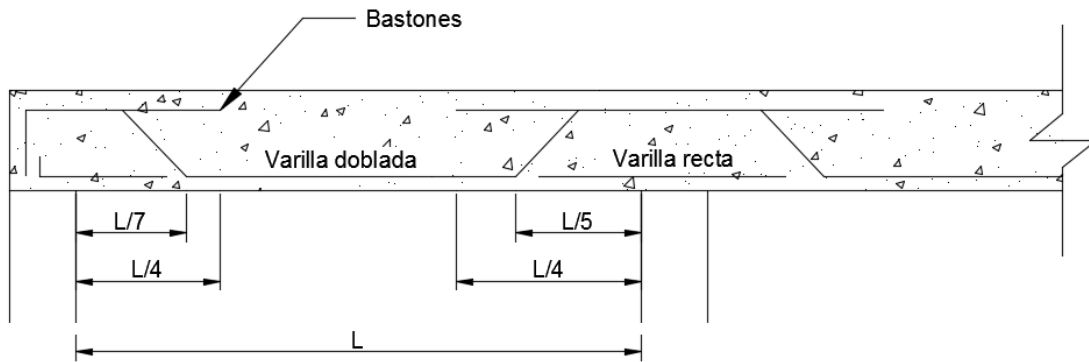


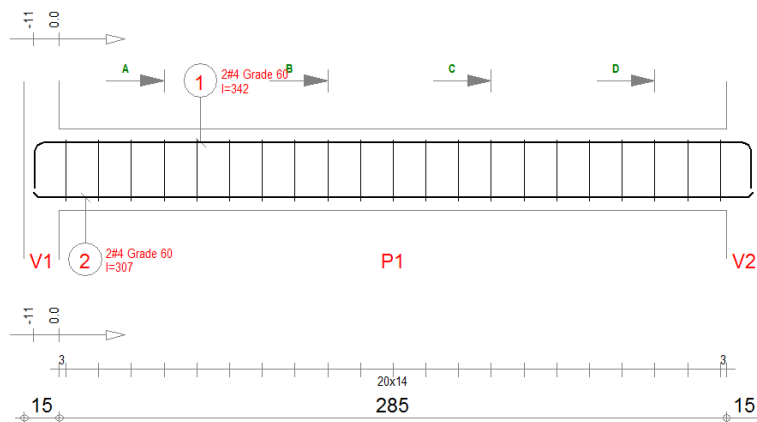
Ilustración 45. Detalle del doblado de la varilla en la losa.

II.9.6.2 Vigas

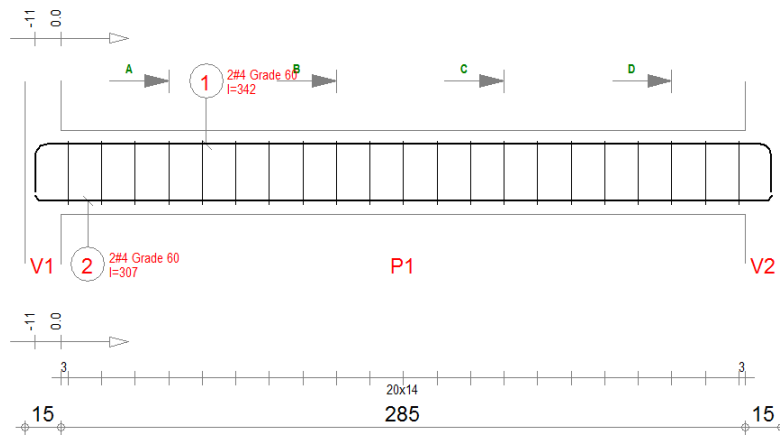
Una vez calculadas las cargas que soportara cada viga estas se diseñaron a través del programa Robot Structural Analysis 2016, también se anexan los archivos por si se desean consultar.

Las secciones de las vigas son de 15 cm x 30 cm, de concreto reforzado.

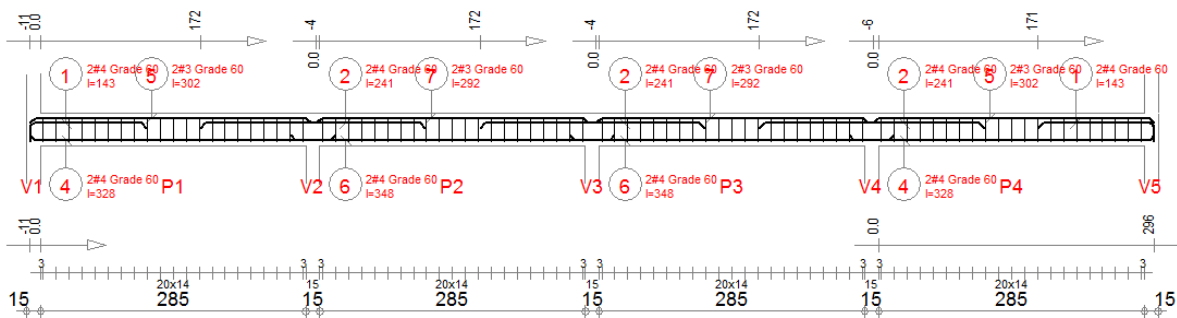
VIGA A-B-1



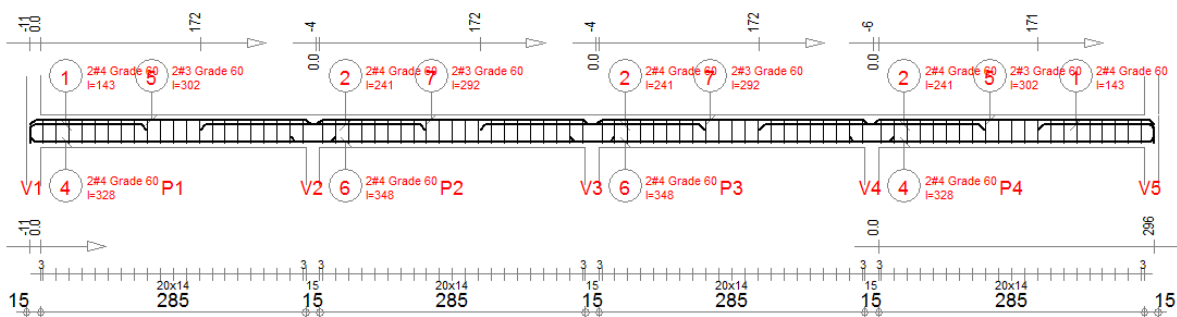
VIGA A-B-4



VIGA 1-4-A



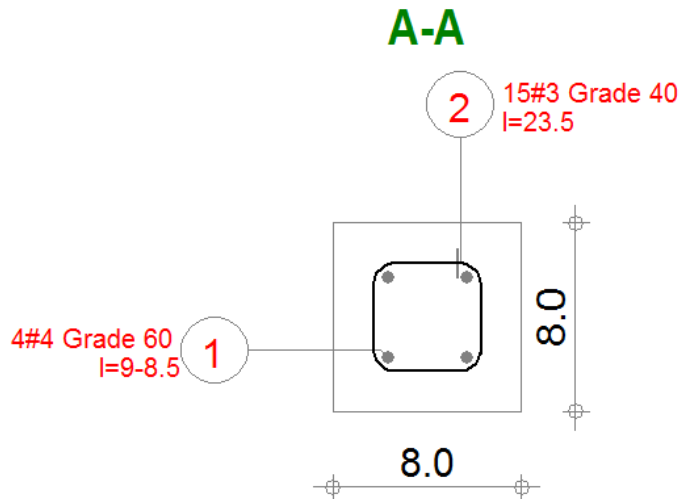
VIGA 1-4-B



Una vez obtenido el armado de cada viga, así como los diagramas de momentos y cortantes se diseñaron las columnas para soportar tales fuerzas.

II.9.6.3 Columnas

Para evitar problemas de esbeltez se propusieron columnas cuadradas de 20 x 20 cm y se encontró que con 4 varillas del #4 es suficiente para soportar las cargas y se colocaron estribos a cada 15 cm.



II.9.7 Vista general y detalles del laboratorio

El laboratorio consistirá con las siguientes áreas:

- Las oficinas previamente diseñadas se colocaran encima de la mesa de drenaje y debajo de ellas se realizara agricultura vertical con leds.
- El espacio que se encuentra a un costado de la nave será utilizado para la experimentación de un sistema de riego con energía fotovoltaica.
- La estructura metálica será utilizada para que se coloquen sobre ella los paneles solares y los generadores eólicos.
- El tornillo de Arquimedes colocará dentro de los canales de la mesa de drenaje.
- El laboratorio también será previsto de varios depósitos de agua para el sistema de riego y para hacer funcionar la turbina de Arquimedes.

Así mencionado lo anterior se presenta una vista general del laboratorio.

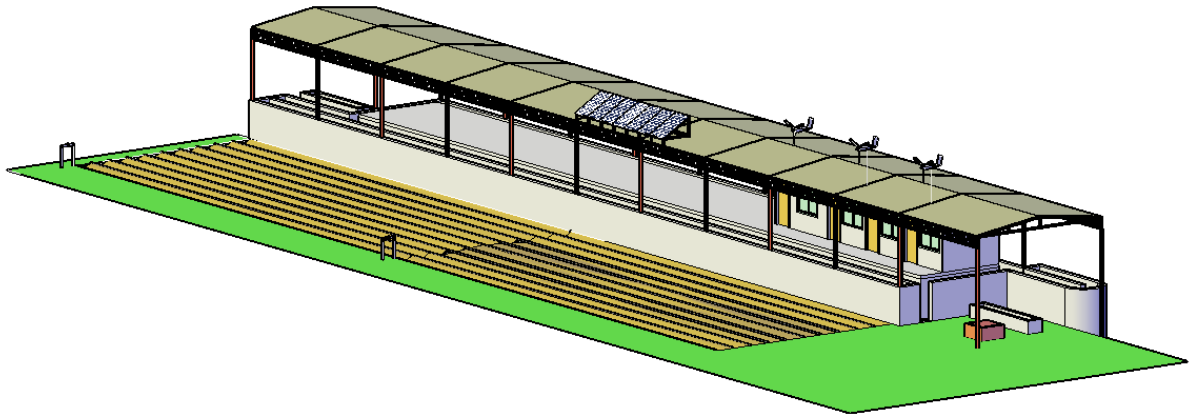


Ilustración 46. Vista frontal del laboratorio de energías renovables.

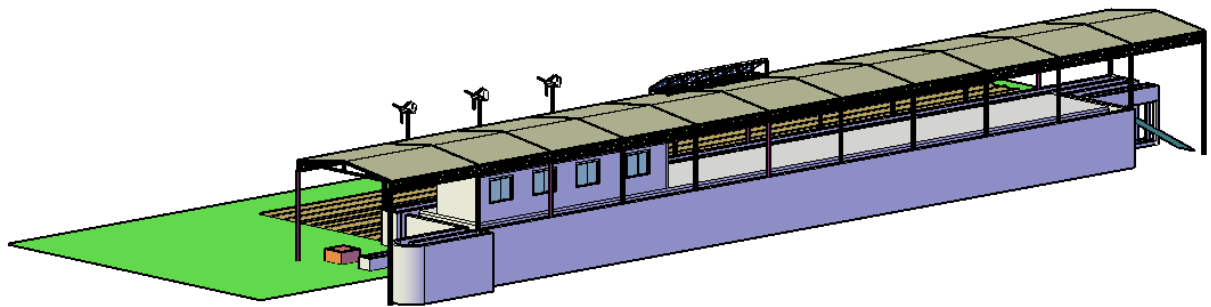


Ilustración 47. Vista trasera del laboratorio de energías renovables.

Capítulo III. Diseño y proyecto ejecutivo de una parcela agrícola experimental abastecida con energía solar en las instalaciones del IMTA.

III.1 Diseño Agronómico

III.1.1 Cálculo de requerimiento de riego

Para el cálculo de la evapotranspiración se usó el observatorio de Cuernavaca dando los siguientes resultados.

Tabla 6. Datos climatológico usados para calcular la Eto.

	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	Eto
Enero	10,8	27,8	51	2,0	7	15,6	3,91
Febrero	11,9	30	47	4	5	14,6	5,68
Marzo	13,7	32,1	39	5	4	14,6	7,31
Abril	15,5	34,8	40	6	6	18,7	8,95
Mayo	16,4	27,8	48	5	6	18,9	6,62
Junio	16,2	27,5	62	4	6	18,8	5,25
Julio	15	27	68	4	6	18,8	4,85
Agosto	15,2	27,1	67	4	6	18,6	4,85
Septiembre	15	27	73	4	6	17,9	4,37
Octubre	13,8	26,2	68	4	6	16,4	4,28
Noviembre	12,5	26,2	60	4	6	14,7	4,38
Diciembre	11,6	28,4	56	4	8	16,2	4,89
Promedio	14,0	28,5	56,6	4,2	6,0	17,0	5,4

El valor de Eto máximo es para el mes de abril debido a la alta velocidad del viento.

Tabla 7. Cálculo del requerimiento de riego se calculó la precipitación efectiva.

Mes	P (mm)	Pe (mm)
Enero	10,4	10,2
Febrero	5,1	5,1
Marzo	5	5,0
Abril	11,5	11,3
Mayo	62,8	56,5
Junio	241,9	148,3
Julio	245,9	149,2
Agosto	225,4	144,1
Septiembre	260,7	151,1
Octubre	108,9	89,9
Noviembre	14,8	14,4
Diciembre	9,1	9,0

Tabla 8. Calculo del requerimiento del riego

Mes	Eto (mm/d)	RR (mm/d)
Enero	5,1	4,8
Febrero	5,7	5,5
Marzo	7,3	7,1
Abril	9,0	8,6
Mayo	6,6	4,8
Junio	5,3	0,3
Julio	4,9	0.0
Agosto	4,9	0.0
Septiembre	4,4	0.0
Octubre	4,3	1,3
Noviembre	4,4	3,9
Diciembre	4,9	4,6

a) Lamina de Riego

$$Lm = \frac{(CC - PMP)}{100} (1 - PC) DaZ \left(\frac{P}{100} \right)$$

Donde:

Lm = Lámina media aplicada por riego, en mm.

CC = Capacidad de campo, en %.

PMP = Punto de marchitamiento permanente, en %.

PC = Punto crítico al cual se pretende dar los riegos. Es el valor de humedad aprovechable a la cual se establece dar el riego, expresado en decimal.

Da = Densidad aparente relativa, adimensional.

Z = Profundidad del suelo que se desea mojar, en mm.

P = Porcentaje del área humedecida.

$$Lm = \frac{28 - 14}{100} (1 - 0.8)(1.2)(400) \left(\frac{60}{100} \right) = 8.01 \text{ mm}$$

b) Intervalo de Riego

$$I = \frac{L_{max}}{Et_{max}}$$

Donde:

L = Lámina máxima aplicada, en mm.

ET = Evapotranspiración del mes de máxima demanda, en mm/día.

$$I = \frac{8.01}{8.6} = 0.94 \text{ días}$$

$$I = 1$$

c) Tiempo de riego

$$tr = \frac{L_r * S_g * S_L}{q}$$

Donde:

t_r = En horas.

L_r = En mm.

S_g = Separación de goteros, en m.

S_L = Separación entre laterales, en m.

q = En lph.

$$t_r = \frac{8.01 * 0.3 * 1.2}{1.13} = 2.57 \text{ h}$$

d) Unidades Operacionales

$$N \leq \frac{h * I}{t_r}$$

N = Número de unidades operacionales, número entero.

h = Número de horas por días que se pretende regar, en h/día.

I = Intervalo de riego, en días.

t_r = Tiempo de riego calculado para el mes de máxima demanda, en h.

$$N \leq \frac{6 * 1}{2.57} \leq 2.33$$

$$N = 2$$

III.2 Diseño Hidráulico

El criterio utilizado es que la variación del gasto no sea mayor al 10% en toda la zona de riego, por lo cual la pérdida de carga permisible en la lateral y en la terciaria es:

$$\Delta h = 0.2h = 0.2 * 6.12 = 1.22 \text{ m}$$

$$\Delta h_l = 0.35 * \Delta h = 0.35 * 1.22 = 0.43 \text{ m}$$

$$\Delta h_T = 0.65 * \Delta h = 0.65 * 1.22 = 0.80 \text{ m}$$

a) Diseño de lateral

DATOS		
q	1,13	lph
h	6,12	m
Se	0,3	m
L	30	m
fe	0,1	m
S	1,3	%

PLANTILLA DE CALCULO										
Di (mm)	N	qL (lps)	J (m)	F	J' (m)	hf (m)	hl (m)	hn (m)	delta h	deltah T
16	100,00	0,03	0,35	0,38	0,47	0,05	6,17	5,72	0,44	0,43
22	100,00	0,03	0,08	0,38	0,10	0,01	6,14	5,73	0,40	0,43
16	100,00	0,03	0,35	0,38	0,47	0,05	6,17	5,72	0,44	0,43
22	100,00	0,03	0,08	0,38	0,10	0,01	6,14	5,73	0,40	0,43

b) Diseño de terciaria

DATOS		
ql	113	lph
hl	6,17	m
SL	1,2	m
L	33,6	m
fe	0,1	m
S	1,3	%

PLANTILLA DE CALCULO										
Di (mm)	N	qL (lps)	J (m)	F	J' (m)	hf (m)	hT (m)	hn (m)	delta h	deltahT

38,1	28,00	0,88	1,95	0,38	2,11	0,27	6,38	5,67	0,70	0,80
55	28,00	0,88	0,34	0,38	0,37	0,05	6,21	5,73	0,48	0,80
63,5	28,00	0,88	0,17	0,38	0,19	0,02	6,19	5,73	0,46	0,80
76,2	28,00	0,88	0,07	0,38	0,08	0,01	6,18	5,74	0,45	0,80

c) Diseño de secundaria

DATOS		
Q	6328	lph
H	6,12	m
L	30	m
S	1,3	%

PLANILLA DE CALCULO			
Di (mm)	v (m/s)	vperm (m/s)	hf (m)
38,1	1,54	2,30	1,97

d) Diseño de la bomba

Carga total

$$H = h_T + h_s = 6.38 + 1.97 = 8.34 \text{ m}$$

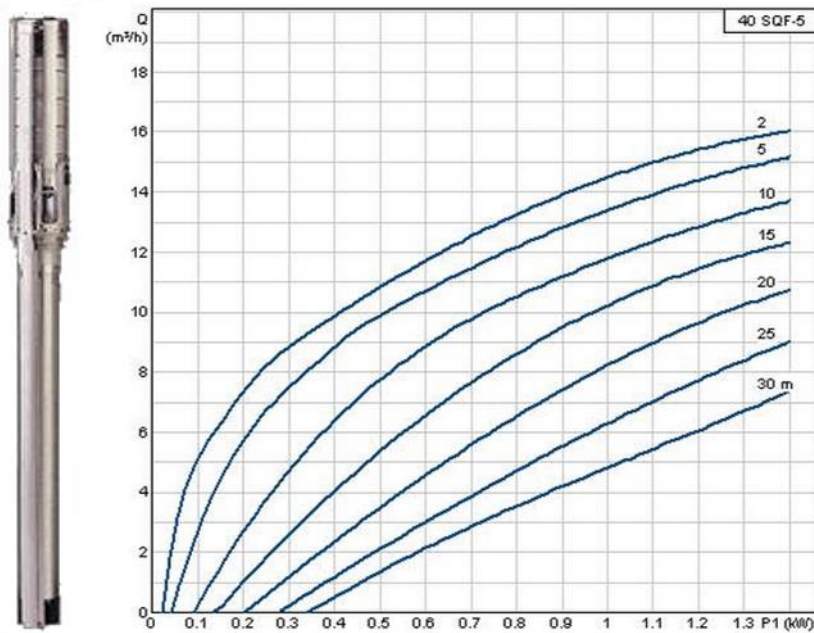
$$H_T = 1.1H = 1.1 * 8.34 = 9.18 \text{ m}$$

$$H_T = 10 \text{ m}$$

Gasto total

$$Q_T = 2 * Q_T = 2 * 0.88 = 1.76 \text{ lps}$$

La bomba a utilizar



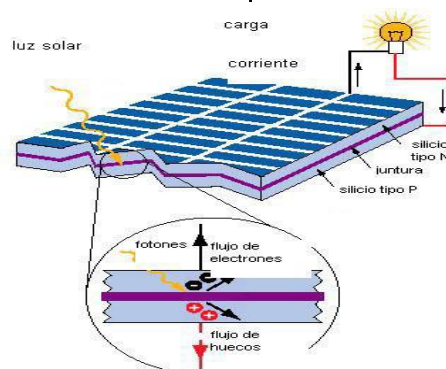
Se entra a la curva de la bomba con el gasto y la carga que se desea satisfacer, con lo cual se obtuvo 0.45 kW es decir 450 W. que se necesitan

III.3 Diseño Energético

III.3.1 Principio fotoeléctrico

La base sobre la cual se fundamentan los actuales sistemas fotovoltaicos comerciales es el denominado principio fotoeléctrico, mediante el cual las radiaciones de la luz solar se transforman en energía eléctrica, este efecto se origina mediante celular fotoeléctricas o células fotovoltaicas las cuales son la unidad básica que componen los módulos solares.

Las células fotovoltaicas son producidas a partir de silicio monocristalino, este dispositivo electrónico permite transformar la energía lumínica (fotones) en energía eléctrica (flujo de electrones libres) mediante el efecto fotoeléctrico, generando energía solar fotovoltaica. Las celdas están compuestas de silicio tipo N² en la capa superior, en la capa inferior contienen silicio tipo P³, estas capas presentan un efecto fotoeléctrico, es decir, absorben fotones de luz y emiten



electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad.

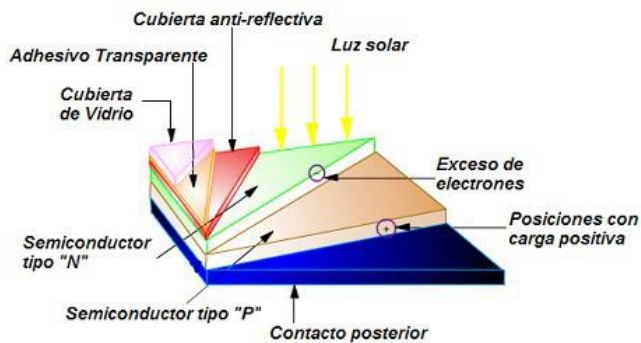


Ilustración 48. Esquemas de la creación de un campo eléctrico permanente, a través de una PN, entre dos capas dopadas respectivamente de, (huecos) electrones positivos (P) y electrones con carga negativa (N) donde el material permanece eléctricamente neutro.

III.3.2 Selección de módulos solares

Estos dispositivos son los encargados de captar la radiación solar y transformarla en electricidad generando una corriente continua (CC), también llamada corriente directa (DC), el número de paneles solares quedará determinado por la potencia que se necesita suministrar, su disposición y conexión (en serie o en paralelo), será en función de la tensión nominal de suministro y la intensidad de corriente que se desee generar.

Los módulos solares LDK-240W-20 Monocristalinos ofrecen:

- Calidad y certificaciones de seguridad bajo las normas ISO 9000 e ISO 9001.
- Durabilidad y la seguridad.
- Alta fiabilidad con garantía de 0 / +5 W de potencia pico.
- Excelente rendimiento en entornos con poca luz.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y ELÉCTRICAS DE LOS MÓDULOS SOLARES MONOCRISTALINOS LDK-240W-20

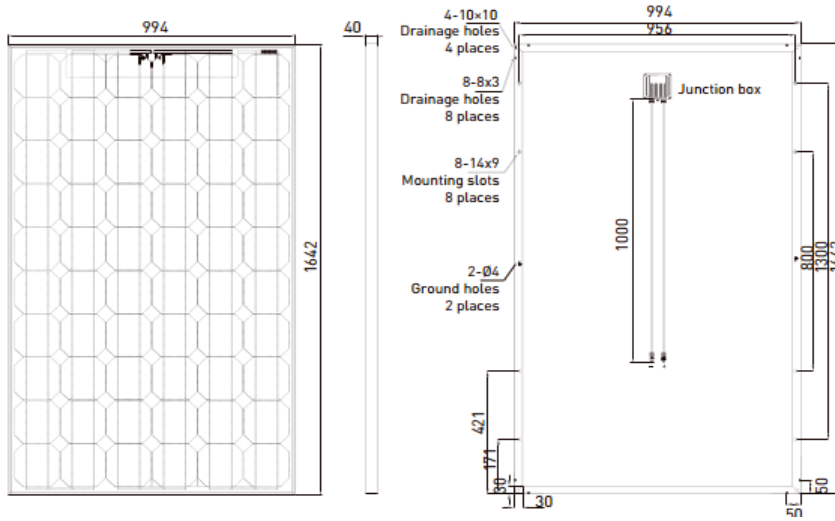


Ilustración 49. Vista frontal y trasera de los Módulos Solares LDK-240D-20

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (STC*)

Tipo	240 D-20
Potencia nominal (P _{máx}) [W]	240
Potencia mínima garantizada [W]	232.8
Clasificación de potencia Flash Test	0/+5 W
Tensión a P _{máx} (V _{mp}) [V]	32.2
Corriente a P _{máx} (I _{mp}) [A]	7.45
Tensión de circuito abierto (V _{oc}) [V]	37.3
Corriente de cortocircuito (I _{sc}) [A]	8.39
Tensión máxima del sistema	
Corriente máxima de fusible serie	
Eficiencia de célula [%]	17.25
Eficiencia de módulo [%]	14.70

RENDIMIENTO ELÉCTRICO A NOCT

Tipo	240 D-20
Potencia nominal (P _{máx}) [W]	174
Tensión a P _{máx} (V _{mp}) [V]	27.7
Corriente a P _{máx} (I _{mp}) [A]	6.28
Tensión de circuito abierto (V _{oc}) [V]	34.3
Corriente de cortocircuito (I _{sc}) [A]	6.79

CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA

Tipo	Serie LDK-D-20
NOCT**	45±2 °C
Coefficiente de temperatura de P _{máx}	-0.47 % / °C
Coefficiente de temperatura de V _{oc}	-0.34 % / °C
Coefficiente de temperatura de I _{sc}	0.06 % / °C
Temperatura en funcionamiento	-40°C to +85°C

Características eléctricas de los Módulos Solares LDK-240W-20, STC* es una condición estándar de medida: Irradiación 1000 W/m², Temperatura del módulo 25 °C, Distribución espectral AM 1.5, NOCT: irradiación 800 W/m², Temperatura del módulo 45 +/- 2°C, Distribución espectral AM 1.5, NOCT**: temperatura nominal de la célula en funcionamiento al sol con 800 W/m², con una temperatura del Aire 20°C y una Velocidad del viento 1m/s.

Pruebas eléctricas de los módulos fotovoltaicos

En la práctica, lo usual es que un módulo solar produzca una determinada corriente eléctrica que fluye a través del circuito externo uniendo los bornes del mismo, este posee una determinada resistencia (R), que define la característica eléctrica del circuito.

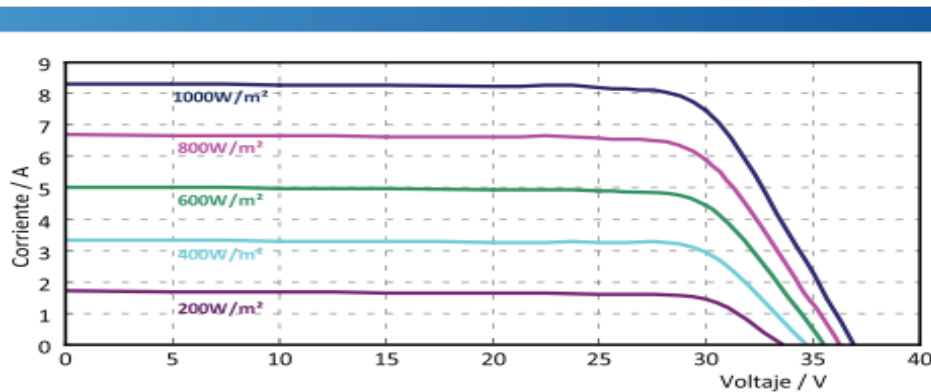


Ilustración 50. Curva intensidad (I) vs voltaje (V) otorgada por el fabricante.

La intersección con la curva del módulo, fija el voltaje de operación del mismo y, en consecuencia, la intensidad que ese entrega al circuito. Si la diferencia de

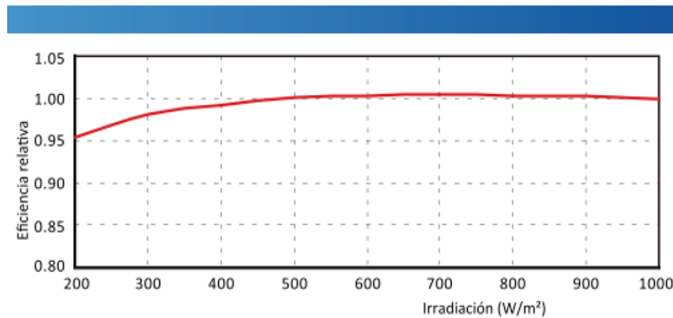
potencial entre los bornes es el voltaje (V), decimos que la corriente de intensidad (I) se produce a un voltaje (V) conocido, en este caso nuestra intensidad a potencia máxima (I_{mp}) que se puede obtener de un panel solar es de 7.45 Amperes, a una tensión potencia máxima (V_{mp}) de 32.2 voltios.



Ilustración 51. Pruebas eléctricas individuales, estas pruebas se realizaron de forma individual para cada Módulo solar LDK-240D-20

La eficiencia de los módulos solares, es un porcentaje de energía en forma de luz que incide sobre el panel convirtiéndose en electricidad. La eficiencia de la célula solar no es igual a la eficiencia del panel. La eficiencia del panel es generalmente de 1 a 3% inferior a la eficiencia de células solares debido a la reflexión de vidrio, marco de sombra y a las temperaturas más altas y bajas del lugar de instalación, etc.

El rendimiento es la tolerancia de potencia, que indica el rango de potencia nominal que el fabricante puede garantizar. Por ejemplo, una tolerancia final - 3% inferior significa que la potencia pico real podría ser 3% inferior a la potencia nominal indicada. Los coeficientes de temperatura más comunes están disponibles en la siguiente gráfica, y deben considerarse como parámetros importantes en la etapa de diseño de los sistemas fotovoltaicos.



El rendimiento de un panel fotovoltaico es generalmente medido en condiciones standard de ensayo (STC), La reducción típica en la eficiencia del módulo es de una irradiación de 200W/m² en relación a 1000W/m² (ambas a 25°C y espectro AM de 1.5) es inferior al 6%.

III.3.3 Especificaciones Técnicas Generales

DESMONTES

1002.01, 0.2 y 03

DEFINICION Y EJECUCION. Este trabajo consiste en efectuar alguna, algunas o todas las operaciones siguientes: cortar, desenraizar, quemar y retirar de los sitios de construcción, los arboles arbustos, hierbas o cualquier vegetación comprendida dentro del derecho de vía, las áreas de construcción y los bancos de préstamo indicados en los planos o que ordene desmontar el Residente.

Estas operaciones pueden ser efectuadas indistintamente a mano mediante el empleo de equipos mecánicos. Toda la materia vegetal proveniente del desmonte deberá colocarse fuera de las zonas destinadas a la construcción dentro del derecho de vía, en la zona de libre colocación.

Se entenderá por zona de libre colocación la faja de terreno comprendida entre la línea límite de la zona de construcción y una línea paralela a esta distancia 60 (sesenta) metros.

El material aprovechable proveniente del desmote será propiedad de la Comisión y deberá ser estibado en los sitios que indique el Ingeniero; no pudiendo ser utilizados por el Contratista sin el previo consentimiento de aquel.

Todo el material no aprovechable deberá ser quemado tomándose las precauciones necesarias para evitar incendios.

Los daños y perjuicios a propiedad ajena producidos por trabajos de desmote efectuados indebidamente dentro o fuera del derecho de vía o de las zonas de construcción serán de la responsabilidad del Contratista.

Las operaciones de desmote deberán efectuarse invariablemente en forma previa a los trabajos de construcción con la anticipación necesaria para no entorpecer el desarrollo de éstos.

MEDICION Y PAGO. El desmote se medirá tomando como unidad la hectárea con aproximación de dos decimales.

No se estimará para fines de pago el desmote que efectúe el Contratista fuera de las áreas de desmote que se indiquen en el proyecto y/u ordenadas por el Ingeniero.

Si la quema de material "no aprovechable" no pudo ser efectuada en forma inmediata al desmote por razones no imputables al Contratista, se computará únicamente un avance del 90% del desmote efectuado. Cuando se haga la quema y se terminen los trabajos de desmote, se estimará el 10% restante.

El desmote se liquidará al Contratista en función del tipo de monte y de acuerdo con los conceptos 1002.01, 02 y 03.

DESPALME

1003.01 Y 02

DEFINICION Y EJECUCION. Se entenderá por despalme la remoción de las capas superficiales de terreno natural cuyo material no sea aprovechable para

la construcción, que se encuentren localizadas sobre los bancos de préstamo. También se entenderá por despalme la remoción de las capas de terreno natural que no sean adecuadas para la cimentación o desplante de un terraplén; y en general la remoción de capas de terreno inadecuadas para construcciones de todo tipo. Se denominará banco de préstamo el lugar del cual se obtengan materiales naturales que se utilicen en la construcción de las obras.

Previamente a este trabajo, la superficie de despalme deberá haber sido desmontada.

El material producto del despalme deberá ser retirado fuera de la superficie del banco de préstamo que se va a explotar y colocado en la zona de libre colocación o en aquella que señale el Ingeniero.

Se entenderá por zona de libre colocación, la faja de terreno comprendida entre el perímetro del banco de préstamo y una línea paralela a este distante 60 (sesenta) metros; aunque en el caso en que el material deba ser retirado fuera de la obra, se valuara con un concepto diferente.

MEDICION Y PAGO. La medición de los volúmenes de materiales excavados para efectuar el despalme se hará tomando como unidad el metro cúbico, y empleando el método de promedio de áreas extremas. El resultado se considerará en unidades completas.

En el caso de que el material producto del despalme deba ser retirado, por condiciones del proyecto y/o por las instrucciones del Ingeniero, fuera de la zona de libre colocación se pagará con el concepto 1000.02 en el que se incluye la carga, descarga y acarreo a un kilómetro.

LIMPIEZA Y TRAZO EN EL AREA DE TRABAJO

1005.01

DEFINICIÓN Y EJECUCIÓN. Se entenderá por limpieza y trazo a las actividades involucradas con la limpieza del terreno de maleza, basura, piedras sueltas etc., y su retiro a sitios donde no entorpezca la ejecución de los trabajos; asimismo

en el alcance de este concepto esta implícito el trazo y la nivelación instalando bancos de nivel y el estacado necesario en el área por construir.

En ningún caso la Comisión hará mas de un pago por limpia, trazo y nivelación ejecutados en la misma superficie.

Cuando se ejecuten conjuntamente con la excavación de la obra y/o el desmonte algunas actividades de desyerbe y limpia, la Comisión no considerara pago alguno.

MEDICIÓN Y PAGO. Para fines de pago se medirá el área de trabajo de la superficie objeto de limpia, trazo y nivelación, medida esta en su proyección horizontal, y tomando como unidad el metro cuadrado con aproximación a la unidad.

EXCAVACIÓN DE ZANJAS

1010.02.04, 1020.02.04, 1040.02 Y 04, 1042.02 Y 04

Para la clasificación de las excavaciones por cuanto a la dureza del material se entenderá por "material común", la tierra, arena, grava, arcilla y limo, o bien todos aquellos materiales que puedan ser aflojados manualmente con el uso del zapapico, así como todas las fracciones de roca, piedras sueltas, peñascos, etc., que cubiquen aisladamente menos de 0.75 de metro cubico y en general todo tipo de material que no pueda ser clasificado como roca fija.

Se entenderá por "roca fija" la que se encuentra en mantos con dureza y con textura que no pueda ser aflojada o resquebrajada económicamente con el solo uso de zapapico y que solo pueda removerse con el uso previo de explosivos, cuñas o dispositivos mecánicos de otra índole. También se consideran dentro de esta Clasificación aquellas fracciones de roca, piedra suelta, o peñascos que cubiquen aisladamente más de 0.75 de metro cubico.

Cuando el material común se encuentre entremezclado con la roca fija en una proporción igual o menor al 25% del volumen de esta, y en tal forma que no pueda ser excavado por separado, todo el material será considerado como roca fija.

Para clasificar material se tomará en cuenta la dificultad que haya presentado para su extracción. En caso de que el volumen por clasificar este compuesto por volúmenes parciales de material común y roca fija se determinara en forma estimativa el porcentaje en que cada uno de estos materiales interviene en la composición del volumen total.

DEFINICIÓN Y EJECUCIÓN.- Se entenderá por "excavación de zanjas" la que se realice según el proyecto y/u órdenes del Ingeniero para alojar la tubería de las redes de agua potable y alcantarillado, incluyendo las operaciones necesarias para amacizar o limpiar la plantilla y taludes de las mismas, la remoción del material producto de las excavaciones, su colocación a uno o a ambos lados de la zanja disponiéndolo en tal forma que no interfiera con el desarrollo normal de los trabajos y la conservación de dichas excavaciones por el tiempo que se requiera para la instalación satisfactoria de la tubería. Incluye igualmente las operaciones que deberá efectuar el Contratista para aflojar el material manualmente o con equipo mecánico previamente a su excavación cuando se requiera.

El producto de la excavación se depositará a uno o a ambos lados de la zanja, dejando libre en el lado que fije el Ingeniero un pasillo de 60 (sesenta) cm. entre el límite de la zanja y el pie del talud del bordo formado por dicho material. El Contratista deberá conservar este pasillo libre de obstáculos.

Las excavaciones deberán ser afinadas en tal forma que cualquier punto de las paredes de las mismas no diste en ningún caso más de 5 (cinco) cm. de la sección de proyecto, cuidándose que esta desviación no se repita en forma sistemática. El fondo de la excavación deberá ser afinado minuciosamente a fin de que la tubería que posteriormente se instale en la misma quede a la profundidad señalada y con la pendiente de proyecto.

Las dimensiones de las excavaciones que formaran las zanjas variarán en función del diámetro de la tubería que será alojada en ellas.

La profundidad de la zanja será medida hacia abajo a contar del nivel natural del terreno, hasta el fondo de la excavación.

El ancho de la zanja será medido entre las dos paredes verticales paralelas que la delimitan.

El afine de los últimos 10 (diez) cm. del fondo de la excavación se deberá efectuar con la menor anticipación posible a la colocación de la tubería. Si por exceso en el tiempo transcurrido entre el afine de la zanja y el tendido de la tubería se requiere un nuevo afine antes de tender la tubería, este será por cuenta exclusiva del Contratista.

Cuando la excavación de zanjas se realice en material común, para alojar tuberías de concreto que no tenga la consistencia adecuada a juicio del Ingeniero, la parte central del fondo de la zanja se excavará en forma redondeada de manera que la tubería apoye sobre el terreno en todo el desarrollo de su cuadrante inferior y en toda su longitud. A este mismo efecto, antes de bajar la tubería a la zanja o durante su instalación deberá excavar en los lugares en que quedaran las juntas, cavidades o "conchas" que alojen las campanas o cajas que formaran las juntas. Esta conformación deberá efectuarse inmediatamente antes de tender la tubería.

El Ingeniero deberá vigilar que desde el momento en que se inicie la excavación hasta aquel en que se termine el relleno de la misma, incluyendo el tiempo necesario para la colocación y prueba de la tubería, no transcurra un lapso mayor de 7 (siete) días calendario.

Cuando la excavación de zanjas se realice en roca fija, se permitirá el uso de explosivos, siempre que no altere el terreno adyacente a las excavaciones y previa autorización por escrito del Ingeniero. El uso de explosivos se restringirá en aquellas zonas en que su utilización pueda causar perjuicios a las obras, o bien cuando por usarse explosivos dentro de una población se causen danos o molestias a sus habitantes.

Cuando la resistencia del terreno o las dimensiones de la excavación sean tales que pongan en peligro la estabilidad de las paredes de la excavación, a juicio del Ingeniero, este ordenará al Contratista la colocación de los ademes y puntales que juzgue necesarios para la seguridad de las obras, la de los trabajadores o que exijan las leyes o reglamentos en vigor.

Las características y forma de los ademes y puntales serán fijados por el Ingeniero sin que esto releve al Contratista de ser el único responsable de los daños y perjuicios que directa o indirectamente se deriven por falla de los mismos.

El ingeniero está facultado para suspender total o parcialmente las obras cuando considere que el estado de las excavaciones no garantiza la seguridad necesaria para las obras y/o los trabajadores, hasta en tanto no se efectúen los trabajos de ademe o apuntalamiento.

El criterio constructivo del Contratista será de su única responsabilidad y cualquier modificación, no será motivo de cambio en el precio unitario, deberá tomar en cuenta que sus rendimientos propuestos sean congruentes con el programa y con las restricciones que pudiesen existir.

En la definición de cada concepto queda implícito el objetivo de la Comisión, el Contratista debe proponer la manera de ejecución y su variación aun a petición de la Comisión (por improductivo) no será motivo de variación en el precio unitario; las excavaciones para estructuras que sean realizadas en las zanjas (por ejemplo para cajas de operación de válvulas, pozos, etc.), serán liquidadas con los mismos conceptos de excavaciones para zanjas.

El contratista deberá tomar en cuenta que la excavación no rebase los 200 mts., adelante del frente de instalación del tubo, a menos que la Comisión a través de su Representante lo considere conveniente en función de la estabilidad del terreno y cuente con la autorización por escrito.

Se ratifica que el pago que la Comisión realiza por las excavaciones, es función de la sección teórica del Proyecto, por lo que se deberán hacer las consideraciones y previsiones para tal situación.

MEDICIÓN Y PAGO.- La excavación de zanjas se medirá en metros cúbicos con aproximación de un decimal. Al efecto se determinarán los volúmenes de las excavaciones realizadas por el Contratista según el proyecto y/o las ordenes del Ingeniero.

No se considerarán para fines de pago las excavaciones hechas por el Contratista fuera de las líneas de proyecto, ni la remoción de derrumbes

originados por causas imputables al Contratista que al igual que las excavaciones que efectúe fuera del proyecto serán consideradas como sobre-excavaciones.

Los trabajos de bombeo que deba realizar el Contratista para efectuar las excavaciones y conservarlas en seco durante el tiempo de colocación de la tubería le serán pagadas por separado. Igualmente le será pagado por separado el acarreo a los bancos de desperdicio que señale el Ingeniero, del material producto de excavaciones que no haya sido utilizado en el relleno de las zanjas por exceso de volumen, por su mala calidad o por cualquiera otra circunstancia.

Se considerará que las excavaciones se efectúan en agua, solamente en el caso en que el material por excavar se encuentre bajo agua, con un tirante mínimo de 50 (cincuenta) cm. que no pueda ser desviada o agotada por bombeo en forma económicamente conveniente para la Comisión, quien ordenará y pagará en todo caso al Contratista las obras de desviación o el bombeo que deba efectuarse. Se considerará que las excavaciones se efectúan en material lodoso cuando por la consistencia del material se dificulte especialmente su extracción, incluso en el caso en que haya usado bombeo para abatir el nivel del agua que lo cubría; así mismo en terrenos pantanosos que se haga necesario el uso de dispositivos de sustentación (balsas) para el equipo de excavación. Y cuando las excavaciones se efectúen en agua o material lodoso se le pagará al Contratista con el concepto que para tal efecto exista.

A manera de resumen se señalan las actividades fundamentales con carácter enunciativo:

A).- Afloje del material y su extracción. B).- Amacice o limpieza de plantilla y taludes de la zanjas y afines. C).- Remoción del material producto de las excavaciones. D).- Traspaleos verticales cuando estos sean procedentes; y horizontales cuando se requieran. E).- Conservación de las excavaciones hasta la instalación satisfactoria de las tuberías. F).- Extracción de derrumbes.

El pago de los conceptos se hará en función de las características del material y de sus condiciones; es decir, seco o en agua.

RELLENO DE EXCAVACIONES DE ZANJAS.

1131.01, 02, 03, 04, 05 Y 06

DEFINICIÓN Y EJECUCIÓN: Se entenderá por "relleno sin compactar" el que se haga por el simple depósito del material para relleno, con su humedad natural, sin compactación alguna, salvo la natural que produce su propio peso.

Se entenderá por "relleno compactado" aquel que se forme colocando el material en capas sensiblemente horizontales, del espesor que señale el Ingeniero, pero en ningún caso mayor de 15 (quince) cm. con la humedad que requiera el material de acuerdo con la prueba Proctor, para su máxima compactación. Cada capa será compactada uniformemente en toda su superficie mediante el empleo de pistones de mano o neumático hasta obtener la compactación requerida.

Por relleno de excavaciones de zanjas se entenderá el conjunto de operaciones que deberá ejecutar el Contratista para rellenar hasta el nivel original del terreno natural o hasta los niveles señalados por el proyecto y/o las órdenes del Ingeniero, las excavaciones que hayan realizado para alojar las tuberías de redes de agua potable, así como las correspondientes a estructuras auxiliares y a trabajos de jardinería.

No se deberá proceder a efectuar ningún relleno de excavación sin antes obtener la aprobación por escrito del Ingeniero, pues en caso contrario, este podrá ordenar la total extracción del material utilizado en rellenos no aprobados por el, sin que el Contratista tenga derecho a ninguna retribución por ello.

La primera parte del relleno se hará invariablemente empleando en ella tierra libre de piedras y deberá ser cuidadosamente colocada y compactada a los lados de los cimientos de estructuras y abajo y a ambos lados de las tuberías. En el caso de cimientos y de estructuras, este relleno tendrá un espesor mínimo de 60 (sesenta) cm., en el caso de rellenos para trabajos de jardinería el relleno se hará en su totalidad con tierra libre de piedras y cuando se trate de tuberías, este primer relleno se continuará hasta un nivel de 30 (treinta)

cm. arriba del lomo superior del tubo o según proyecto. Después se continuará el relleno empleando el producto de la propia excavación, colocándolo en capas de 20 (veinte) cm. de espesor como máximo, que serán humedecidas y apisonadas.

Cuando por la naturaleza de los trabajos no se requiera un grado de compactación especial, el material se colocará en las excavaciones apisonándolo ligeramente, hasta por capas sucesivas de 20 (veinte) cm. colmar la excavación dejando sobre de ella un montículo de material con altura de 15 (quince) cm. sobre el nivel natural del terreno, o de la altura que ordene el Ingeniero.

Cuando el proyecto y/o las órdenes del Ingeniero así lo señalen, el relleno de excavaciones deberá ser efectuado en forma tal que cumpla con las especificaciones de la técnica "Proctor" de compactación, para lo cual el Ingeniero ordenará el espesor de las capas, el contenido de humedad del material, el grado de compactación, procedimiento, etc., para lograr la compactación óptima.

La consolidación empleando agua no se permitirá en rellenos en que se empleen materiales arcillosos o arcilloarenosos, y a juicio del Ingeniero podrá emplearse cuando se trate de material rico en terrones o muy arenoso. En estos casos se procederá a llenar la zanja hasta un nivel de 20 (veinte) cm. abajo del nivel natural del terreno vertiendo agua sobre el relleno ya colocado hasta lograr en el mismo un encharcamiento superficial; al día siguiente, con una pala se pulverizará y alisará toda la costra superficial del relleno anterior y se rellenará totalmente la zanja, consolidando el segundo relleno en capas de 15 (quince) cm. de espesor, quedando este proceso sujeto a la aprobación del Ingeniero, quien dictará modificaciones o modalidades.

La tierra, rocas y cualquier material sobrante después de rellenar las excavaciones de zanjas, serán acarreados por el Contratista hasta el lugar de desperdicios que señale el Ingeniero.

Los rellenos que se hagan en zanjas ubicadas en terrenos de fuerte pendiente, se terminarán en la capa superficial empleando material que contenga piedras suficientemente grandes para evitar el deslave del relleno motivado por el

escurrimiento de las aguas pluviales, durante el periodo comprendido entre la terminación del relleno de la zanja y la reposición del pavimento correspondiente. En cada caso particular el Ingeniero dictará las disposiciones pertinentes.

MEDICIÓN Y PAGO. El relleno de excavaciones de zanja que efectúe el Contratista, le será medido en metros cúbicos de material colocado con aproximación de un décimo. El material empleado en el relleno de sobre-excavaciones o derrumbes imputables al Contratista no será valuado para fines de estimación y pago.

De acuerdo con cada concepto y en la medida que proceda con base en su propia definición, los Precios Unitarios deben incluir con carácter enunciativo las siguientes actividades:

- a).- Obtención, extracción, carga, acarreo primer kilometro y descarga en el sitio de utilización del material.
- b).- Proporcionar la humedad necesaria para compactación al grado que este estipulado (quitar o adicionar).
- c).- Seleccionar el material y/o papear.
- d).- Compactar al porcentaje especificado.
- e).- Acarreo, movimientos y traspaleos locales.

INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE P.V.C., CON COPLE INTEGRAL

2040.01 AL 11

DEFINICIÓN Y EJECUCIÓN.- P.V.C. son las iniciales en ingles de Poli-Vinil-Chlorine, adaptadas internacionalmente para denominar los productos fabricados precisamente con Cloruro de Polivinilo.

La conexión de un tubo al otro se efectúa insertando el extremo achaflanado a la campana Anger. Las tuberías que han sido cortadas en la obra deben achaflanarse.

Para obtener una inserción correcta deberán seguirse las siguientes recomendaciones:

- 1.- Antes de efectuar la inserción deberán limpiarse tanto la ranura de la campana como el extremo achaflanado del tubo.
- 2.- En la ranura de la campana, previamente limpiada, se coloca el anillo de empaque de tres labios para facilitar la colocación del anillo, este puede mojarse con agua limpia.
- 3.- Sobre el extremo achaflanado del tubo se aplica una capa de lubricante Duralon o Similar, de aproximadamente 1 mm. de espesor.
- 4.- Aplicando el lubricante se insertará el extremo achaflanado en la campana. Es de importancia que la inserción se haga únicamente hasta la marca de color que se encuentra en el extremo del tubo.
- 5.- Se debe tener especial cuidado de que la inserción no se haga hasta el fondo de la campana, ya que la unión Anger opera como junta de dilatación.

Cambios de Dirección de la Tubería.- La curvatura debe hacerse únicamente en la parte lisa del tubo hasta los límites que especifican los fabricantes para este tipo de tubería, ya que el cople no permite cambios de dirección.

Cruce de Carreteras y Vías de Ferrocarril.- En ambos casos se recomienda que el tubo pase a una profundidad mínima de un metro; es decir; la zanja deberá tener una profundidad de 100 centímetros mas el diámetro del tubo. En caso de que esto no sea posible, se recomienda proteger el tubo cubriéndolo con otro de acero y/o las indicaciones del Ingeniero.

Atraques.- Se fabricarán de concreto, en los sitios en que haya cambios de dirección o de pendiente para evitar en forma efectiva movimientos de la tubería producidos por la presión hidrostática o por los golpes de ariete.

No se efectuará la prueba hasta después de haber transcurrido cinco días da haberse construido el ultimo atraque de concreto pero si se utiliza cemento de fraguado rápido, las pruebas podrán efectuarse después de dos días de haberse colado el ultimo. En caso de que no haya atraques de concreto, las

pruebas se efectuarán dentro de los tres días hábiles después de terminada la instalación.

Prueba Hidrostática.- Para efectos de la prueba hidrostática se dejan libres todas las conexiones y cruceros, sometiendo las tuberías y conexiones instaladas a una prueba hidrostática por medio de presión de agua, en la que se cuantificarán las fugas del tramo instalado.

Los tramos que se probarán deberán estar comprendidos entre cruceros, incluyendo piezas especiales y válvulas de los mismos. En esta prueba la tubería se llenará lentamente de agua y se purgará de aire atrapado en ella mediante la inserción de una válvula de aire en las partes más altas del tramo por probar. Se aplicará la presión de prueba mediante una bomba apropiada y se mantendrá una hora como mínimo.

MEDICIÓN Y PAGO.- La instalación será medida en metros con aproximación de un décimo. Al efecto se determinará directamente en la obra las longitudes de tuberías colocadas en función de su diámetro y con base en lo señalado por el proyecto; debiendo incluir las siguientes actividades que se mencionan con carácter enunciativo:

A).- Revisión de tuberías, juntas y materiales para certificar su buen estado.

B).- Maniobras y acarreo para colocar a un lado de la zanja.

C).- Instalación y bajado de la tubería y prueba hidrostática con el manejo del agua; y reparaciones que se pudiesen requerir.

III.3.4 CATALOGO DE CONCEPTOS

No.	Descripción	Unidad	Cantidad	P.U	Importe
	RED MENOR MARGEN IZQUIERDO				
	LIMPIEZA Y TRAZO EN EL AREA DE TRABAJO. INCLUYE: HERRAMIENTAS Y MANO DE OBRA.	M2	9000.00	\$0.01	\$45.00
	EXCAVACION DE ZANJAS, EN MATERIAL I Y II. INCLUYE: AFLOJE, EXTRACCIÓN DEL MATERIAL, LA MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA NECESARIA PARA SU COMPLETA EJECUCIÓN.	M3	28.00	\$1.00	\$28.00
	SUMINISTRO, INSTALACION Y PRUEBA DE TUBERIA PVC DE 38.1 mm RD-26. INCLUYE: MATERIAL, HERRAMIENTAS Y MANO DE OBRA.	M	105.30	\$0.70	\$73.71
	SUMINISTRO E INSTALACION DE CINTA DE RIEGO DE 16 mm. INCLUYE: MATERIAL, HERRAMIENTAS Y MANO DE OBRA.	M	2016.00	\$0.12	\$241.92
	SUMINISTRO E INSTALACION DE CODOS DE 38.1 mm DE 90 GRADOS. INCLUYE: MATERIAL, HERRAMIENTAS Y MANO DE OBRA.	PZA.	9.00	\$2.00	\$18.00
	SUMINISTRO E INSTALACION DE TEE DE 38.1 mm. INCLUYE: MATERIAL, HERRAMIENTAS Y MANO DE OBRA.	PZA.	3.00	\$2.00	\$6.00
	SUMINISTRO E INSTALACION DE REDUCCION DE 38.1 mm A 1". INCLUYE: MATERIAL, HERRAMIENTAS Y MANO DE OBRA.	PZA.	5.00	\$2.00	\$10.00
	SUMINISTRO E INSTALACION DE ADAPTADOR HEMBRA DE 1". INCLUYE: MATERIAL, HERRAMIENTAS Y MANO DE OBRA.	PZA.	3.00	\$2.00	\$6.00
	SUMINISTRO E INSTALACION DE VALVULA DE AIRE DE 1" INCLUYE: MATERIAL, HERRAMIENTAS Y MANO DE OBRA.	PZA.	3.00	\$2.00	\$6.00
	SUMINISTRO E INSTALACION DE VALVULA DE BOLA DE 38.1 mm. INCLUYE: MATERIAL, HERRAMIENTAS Y MANO DE OBRA.	PZA.	3.00	\$2.00	\$6.00
	SUMINISTRO E INSTALACION DE FILTRO DE ANILLOS DE 1 1/2". INCLUYE: MATERIAL, HERRAMIENTAS Y MANO DE OBRA.	PZA.	1.00	\$9.00	\$9.00
	SUMINISTRO E INSTALACION DE ADAPTADOR MACHO DE PVC HID. CEM. DE 1 1/2". INCLUYE: MATERIAL, HERRAMIENTAS Y MANO DE OBRA.	PZA.	2.00	\$3.00	\$6.00
	RELLENO PRODUCTO DE LA EXCAVACION. INCLUYE: MATERIAL, HERRAMIENTAS Y MANO DE OBRA.	M3	28.00	\$2.00	\$56.00
	SUMINISTRO E INSTALACION DE BOMBA SUMERGIBLE. INCLUYE: MATERIAL, HERRAMIENTAS Y MANO DE OBRA.	PZA.	1.00	\$2,416.00	\$2,416.00
	SUMINISTRO E INSTALACION DE PANELES SOLARES. INCLUYE: MATERIAL, HERRAMIENTAS Y MANO DE OBRA.	PZA.	2.00	\$252.00	\$504.00
SUBTOTAL					\$3,431.63

Capítulo IV. Artículo para revista arbitrada sobre sistemas de desalación de agua para riego abastecido con energía solar

Sistemas de desalinización para aplicaciones de irrigación: Revisión bibliográfica.

- Revisión bibliográfica sobre las tecnologías para desalinización de agua salobre.
- Panorama general sobre los sistemas autónomos de desalinización para irrigación.
- Sistemas alimentados con energía solar fotovoltaica

La energía solar representa una solución atractiva para aplicaciones de riego agrícola. Aplicaciones como desalinización y drenado de canales en zonas remotas, especialmente en cuencas endorreicas donde los compuestos presentes tales como sulfatos, exceden los límites máximos permisibles para aplicaciones de este tipo. El presente documento tiene como objetivo mostrar un panorama de manera general, del uso de diversas tecnologías solares empleadas en la desalinización, y cuya aplicación este destinada para la irrigación de cultivos agrícolas. .

La desalinización de aguas subterráneas salobres (BW) o agua de mar (SW) se ha venido utilizando como una alternativa para aumentar la disponibilidad de agua de buena calidad, para el desarrollo de la agricultura en zonas áridas y semiáridas. Dependiendo del tipo de los cultivos y las características del suelo se define la cantidad y la calidad de agua necesaria el riego. Esto es muy

importante, porque permitirá elegir la tecnología correcta y en casos específicos, mejorar el diseño de la planta desalinización [1].

Durante la última década, en muchos países se ha observado un crecimiento sustancial en la construcción de un número significativo de plantas desalinización con fines agrícolas. Algunos autores consideran que esta tendencia de crecimiento continúe e incluso se intensifique en un futuro próximo [1] y [2]. Por ejemplo, en España más del 22% del agua desalinizada se utiliza para fines de riego agrícola [1]. En cuanto al origen del influente, la fuente principal para alimentar a los sistemas de desalinización es el BW. Esto ocurre porque los costos de desalinización de BW es considerablemente menor que los costos que se obtienen a partir del agua de mar [3][4].

Dada la dispersión de las comunidades rurales y las necesidades alimenticias en aumento, el desarrollo de sistemas de desalinización autónomos basados en energías alternativas es considerado en la actualidad como una política estratégica para desarrollo local en los próximos años. Las zonas áridas donde el agua dulce es escasa por lo general tienen abundante radiación solar, por lo que las tecnologías solares representan una opción atractiva para la producción de agua dulce. En particular, pequeños sistemas de desalinización solar alimentados con sistemas fotovoltaicos y tecnologías de colectores solares.

La elección correcta de la tecnología de desalinización de agua salobre depende de varios factores, no sólo del costo. Por ejemplo, la disponibilidad de agua subterránea, la calidad del producto final, políticas, etc.. La combinación de los procesos de desalación estándar con sistemas solares representa una posibilidad interesante para el desarrollo de los cultivos de pequeña y mediana escala. Específicamente en los lugares donde se dispone de agua salobre y

recurso solar abundante. El presente capítulo tiene como objetivo mostrar un panorama general, del uso de diversas tecnologías solares empleadas en la desalinización, y cuya aplicación este destinada para la irrigación de cultivos agrícolas.

IV.1 Tecnologías para tratamiento de agua salobre

La desalinización se ha venido empleando principalmente para la producción de agua para consumo humano. Sin embargo, dada la escasez de agua y la necesidad en la producción de alimentos esta tecnología se está adaptando para diversos usos incluyendo para aplicaciones agrícolas. Las tecnologías actuales usadas en la desalinización energizadas con energía solar se pueden clasificar en dos categorías principales: los procesos térmicos que requieren cambio de fase y procesos de membrana sin cambio de fase. El proceso de cambio de fase básicamente imita el ciclo natural hidrológico. Los procesos de membrana se caracterizan porque no se produce cambio de fase; la membrana actúa como una barrera permitiendo que una fracción del agua pueda recuperarse. Una clasificación del principal proceso de desalinización es espectáculo en la tabla 9.

Tabla 9. Principios de separación en la desalinización.

Procesos térmicos	Procesos mediante membranas
<ul style="list-style-type: none"> • Multi-stage flash (MSF) • Destilación por múltiple efecto (MED) • Compresion de Vapor (VC) • Congelamiento • Humidificion/ dehumidificion • Estanques Solares 	<ul style="list-style-type: none"> • Osmosis inversa (RO) • Electrodiálisis reversible (EDR) • Osmosis Positiva (FO)

Por lo general, las tecnologías de procesos térmicos sólo se pueden utilizar para la desalinización del agua de mar a un costo muy alto. La tecnología térmica fue predominante hasta finales de los años 70. Sin embargo, esta tendencia fue atenuada debido a la aparición de los procesos mediante membranas de RO. Inicialmente las tecnologías mediante membrana fue desarrollada para operar con BW, pero a partir de los años 80 se desarrollaron sistemas para operar con agua de mar. Actualmente, la RO es ampliamente utilizado para tratar BW, así como el agua de mar.

El agua es un factor clave para la seguridad alimentaria por ello la desalinización para riego se justifica al considerar cultivos de alto valor agregado, tales como los que se cultivan en invernaderos. La demanda de agua en invernadero moderno puede reducir 60-90% en comparación con el cultivo a campo abierto. Básicamente existen dos formas eficientes para el riego de los cultivos: por goteo y la condensación directa en el suelo. Sobre la base de este principio se han venido desarrollando el concepto de la desalinización solar térmica para aplicaciones agrícolas.

IV.2 Sistema integrado de estanque solar e invernadero

Los sistemas integrados mediante estanques solares e invernaderos, fueron uno de los primeros conceptos que emplearon la irrigación mediante goteo. Estos sistemas, básicamente consisten en un techo de cristal de cubierta doble. En la superficie inferior de la cubierta doble se fija un material que atenúa en forma parcial la radiación solar pero al mismo tiempo la absorbe. Una fracción de la radiación incidente es absorbida por la cubierta de

sombreado y la otra parte es absorbida por el agua salina. El agua en forma de vapor que se produce por calentamiento directo solar se condensa en la superficie superior. La condensación fluye por gravedad para llegar a los canales de riego como se muestra:

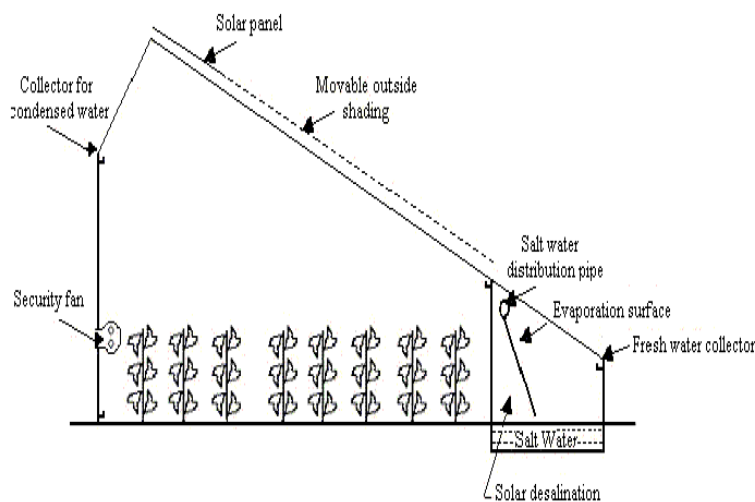


Ilustración 52 . Sección transversal de un sistema de efecto invernadero para operar en zonas desérticas diseñada por ITG en 1987 en la Universidad de Adana, Turquía

Los sistemas de efecto invernadero integrado producen pequeñas cantidades de agua de calidad alta. Con el fin de aumentar la cantidad de producto se mezcla el condensado con agua salobre en una relación de 1 a 1. La experiencia con estos sistemas mostró que aunque el sistema funciona correctamente resulta ineficiente. Las plantas crecen más eficazmente bajo condiciones de temperatura y humedad que no son favorables para la evaporación en un estanque solar.

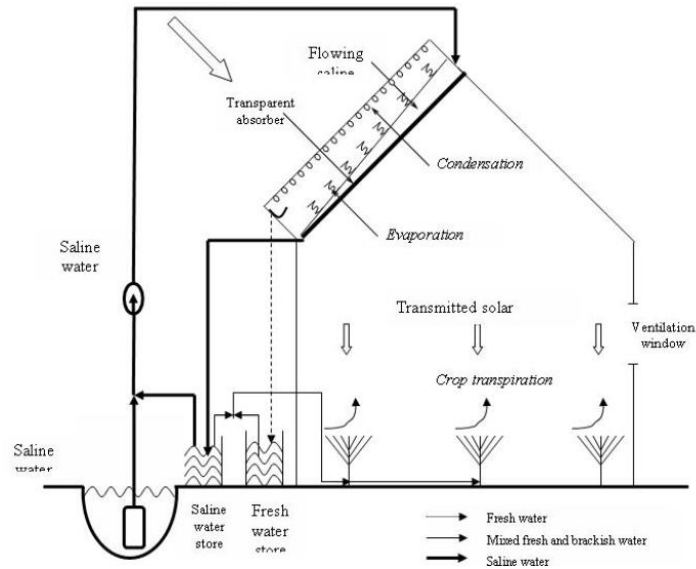


Ilustración 53. Principio del sistema de efecto invernadero integrado. En la parte superior ocurre la desalinización y en la parte inferior se ubica el cultivo.

Dado que las condiciones termodinámicas para el sistema desalinizador no son las mismas que las condiciones para el crecimiento de la planta, en estos sistemas se observa que los cultivos crecen bajo “stress” como resultado del incremento de la temperatura y la humedad relativa. Selsuk [22] sugirió un sistema de soporte térmico solar independiente a la estación de cultivo (invernaderos). Esta modificación permite que el sistema sea más eficiente tanto en la evaporación como en el crecimiento de los cultivos. Una descripción cronológica sobre la evolución del desarrollo de esta tecnología se describe en la tabla 11.



Ilustración 54. Esquema de un novedoso sistema húmedo aire-colector solar para la horticultura de invernadero.

Tabla 10. Sistema combinado estanque solar-invernadero (adaptado de [5])

Year	Author	Brief description	Ref.
1961	Tombe and Foex	Presentan el primer estudio de un sistema combinado de un destilador solar con efecto invernadero.	[18]
1972	Boutire	Propone una versión mejorada del diseño Tombe / Foex	[6]
1975	Selsuk	Argumenta que las condiciones óptimas de operación del estanque solar no son las mismas de tal manera que para las plantas puedan crecer de manera eficiente. Por lo tanto, el autor propuso un soporte térmico solar completamente separados a las zonas de cultivo.	[20]
1977	Bettaque	Propone una versión mejorada de la Tombe diseño / Foex	[19]
1984	Dument,M.	Realiza un estudio sobre un invernadero con una destilación solar basado en el concepto Bettaque. La producción del sistema fue aproximadamente 2-3.5 l / m ² / día en condiciones favorables.	[24]
1985	Strauch	Fue publicado resultado Experimento del Sistema-ITG. Desarrollado en los años 70 por parte de la Universidad de Hannover en Alemania. Este sistema fue diseñado para desierto tropical y fue más eficiencia en comparación con el sistema Bettaque.	[23]

1989	Hassan et al.	Proponen un techo solar de múltiples etapas. Esta configuración puede producir 13,5 a 17,5 veces de la evaporación en el invernadero.	[7]
1994	Fatih, H.E.S	Propuso un techo solar de múltiples etapas. A diferencia del modelo propuesto por Hassan et al.,. Esta nueva configuración integra ventilación forzada para mejorar la distribución de la temperatura. Este sistema es adecuado para la región del desierto caliente, porque vamos a disminuir la carga de refrigeración de efecto invernadero. La producción que varía de 1.3 a 1,8 l / m ² / día.	[26]
2003	Chaibi	Un sistema de desalinización de agua mediante techo integrado para el invernadero fue construido.	[25]
2004	Chaibi and Jilar	Desarrollado un invernadero sistema solar integrado basado en sistema de Bettaque. Las capacidades alrededor de 1,5 a 2 l / m ² / d está limitado el uso de ciertos cultivos.	[25]

IV.3 Irrigación por condensación

El principio de la irrigación de condensación (CI) consiste en humedecer el aire presente en destilador solar tanto como sea posible, posteriormente, se mueve a través de tuberías de drenaje enterrados en el suelo donde se produce la dehumidificación. Las tuberías enterradas están perforando y el agua condensada se filtra en la zona radicular y de esta manera ocurre la irrigación.

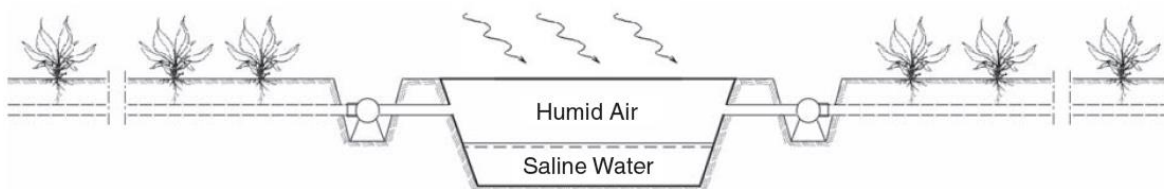


Ilustración 55. Esquema de un sistema de riego por condensación. El aire ambiente se calienta y humidifica el interior de destiladores solares y conduce por medio de tuberías enterradas, donde se enfría y deshumidifica.

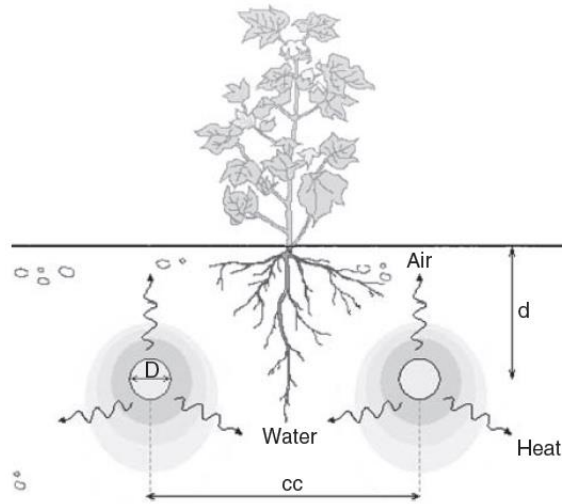


Ilustración 56. Sección de tubos de drenaje enterrados en un campo. El calor, el agua condensada y el flujo de aire húmedo través de las perforaciones de tuberías en el suelo. Los diámetros D del tubo, profundidad d , y el espaciamiento cc .

Una descripción cronológica sobre la evolución del desarrollo de esta tecnología se describe en la tabla 12.

Tabla 11. Sistema combinado estanque solar-invernadero

Year	Author	Brief description	Ref.
1986	Widegren, M.	Llevar a cabo un estudio teórico sobre el sistema de CI de una hectárea mediante convección forzada	[28]
1987	Nordell, B.	Construido una planta pequeña escala en un invernadero	[29]
1990	Ruess, K. and Federer, H.,	Construido una planta de CI. El sistema funciona con agua de mar.	[30]
1999	Gustafsson, AM. And Lindblom, J.	Llevó a cabo estudios teóricos y experimentales en el CI. Tey citar que CI es una alternativa prometedora para el riego	[31]
2006	Nordell, B. and Lindblom, J.	Llevó a cabo estudios teóricos y experimentales en el CI.	[32]
2007	Zaragoza et al.	Propone un nuevo concepto para un solo invernadero cerrado. Se compone de un invernadero con una chimenea solar, en cuyo interior un conducto de refrigeración contiene un intercambiador de calor aire-agua conectado a un acumulador de calor.	[33]

IV.4 Sistemas de colectores solares conectados a invernaderos

Los sistemas de colectores solares básicamente se utilizan para proporcionar el soporte térmico. Los colectores solares que pueden ser utilizados son los colectores solares planos, de tubos evacuados y en algunos casos de canal parabólico. En esencia se utiliza un colector para suministrar energía térmica para ser utilizada en algún proceso convencional de desalinización.

Los proyectos de riego para el cultivo protegido a partir de agua desalinizada con energía térmica solar no ha ido más allá de proyectos y plantas experimentales. En esta sección, se describen dos proyectos piloto localizadas en el sur de Túnez.

La planta constituye un esfuerzo conjunto de investigación con el fin de generar experiencia de campo para el riego y cultivo en sistemas de efecto invernadero [31]. La planta está integrada por un campo de colectores solares de 80 m². El agua salobre es bombeada desde el pozo donde se filtra y se conduce hacia un intercambiador de calor donde se calienta el influente. En el evaporador el agua salada sale del intercambiador de calor con una temperatura próxima a 60 ° C y se dirige a la parte superior del evaporador donde se descarga en un medio poroso compuesto por bolas de polietileno. Durante el recorrido una parte del agua salada se evapora y la otra parte se recupera en la parte inferior para ser almacenado o utilizado para el efecto invernadero. En el condensador el vapor que llega del evaporador se condensa. El calor que se transfiere por cambio de fase se recupera a fin de ser reingresado al sistema. El agua destilada se bombea a través de tuberías a un sistema que actúa como precalentamiento al influente y se conduce a la sección de almacenamiento. El agua dulce producida por este proceso está limitada a una cantidad de 5- 6 l / m², día. Esta producción constituye casi la mitad de la cantidad de agua dulce destinada para irrigación el cual supera una superficie de 1200 m²

IV.5 Sistemas desalinización mediante membranas

Los sistemas de desalinización mediante membranas y energía solar. Basicamente requieren de una estación de paneles fotovoltaicos para energizar los sistemas de control y bombeo.

La revisión bibliográfica de esta sección esta contenida en la publicación de un artículo y que forma parte de este proyecto de investigación.

Capítulo V. Anexos

Anexo 1. Documentos utilizados en la revisión bibliográfica.

Anexo 2. Planos y cálculos de la propuesta de laboratorio de energías renovables.

Anexo 3. Planos y cálculo del diseño de parcela experimental.

Anexo 4. Artículo experimental sobre sistema de desalación.

Bibliografía

- [1] Zarzo D., Campos E., Terrero P., Spanish experience in desalination for agriculture, *Desalination and Water Treatment*, 1944-3994/1944-3986 2012 Desalination Publications.
- [2] Veza J.M. 2004 Water desalination for agricultural applications, Chapter in *Water Desalination for agricultural Applications. Proceedings of the FAO Expert Consultation on Water Desalination for Agriculture Applications*, 26–27 April, Rome.
- [3] Ghermandi A., Messalem R. 2009 The advantages of NF desalination of brackish water for sustainable irrigation: The case of the Arava Valley in Israel. *Desalination and Water Treatment*, 10 (1-3), 101–107
- [4] Garcia C., Molina F., Zarzo D. 2011 7 year operation of a BWRO plant with raw water from a coastal aquifer for agricultural irrigation, *Desalination and Water Treatment*, 31 (1-3), 331–338.
- [5] ChaibiAn M.T., overview of solar desalination for domestic and agriculture water needs in remote arid areas, *Desalination* 127 (2000) 119-133
- [6] H. Boutiere, Culture en zone aride et serre- Rural Development, Renewable Resources and distillateurs solaires, COMPLES meeting, Athens, Alternative Technologies for Developing Countries, Greece, 1971.
- [7] M.S. Hassan, S. Toyama, K. Murase and M.A. Wahhab, *Desalination*, 71 (1989) 347.
- [8] Luft, W. and Froechtenigt, J., “Solar energy controlled environment agriculture in the United States and Saudi Arabia”. SERI/TP-270- 1465 1981.
- [9] Malik, M.A.S., Tiwari, G.N., Kumar, A. and Sodha, M.S., *Solar distillation: A practical study of a wide range of stills and their optimum design, construction and performance*, First edition. Pergamon press Ltd. Oxford, England, 100-109, 1996,

- [10] Kudish, A.I. and Gale, J.. “Solar desalination in conjunction with controlled environmental agriculture in arid zones,” *Energy Conversion and Management*, 26 (2), 201-207, 1986
- [11] Tiwari, G.N., Sinha, S., Saxena, P. and Kumar, S. “Review of solar distiller in other thermal applications” *International Journal Solar Energy*, 13, 135-144, 1992.
- [12] Abou Hadid, A., Batanouny K.H., Jabarine, A.S. and Kader A.A. Proposal for expanding the crop mandate of ICARDA to include horticultural crops., Report ICARDA 07/250/ April, 2004.
- [13] Tyler Miller.G, Jr., *Environmental science*, Third edition Wadsworth publishing company Belmont, California, A division of wadsworth, Inc., Chap 11, 236-239, 1991.
- [14] Horchani, A.. “Shortage of water: a fundamental problem in arid and semi-arid areas,” *Proceedings water resources in the next century, Stockholm water symposium*, 31-36, 1991.
- [15] Wolter, H.W and Kandiah, A., “Harnessing water to feed a hungry world”, 16th congress on irrigation and drainage, volume 1H, 2-22, 1996.
- [16] Tanji, K.K. and Enos, C.A.. *Global Water Resources and Agricultural Use*. In: *Management of Water Use in Agriculture*, Eds:K.K. Tanji and B. Yaron, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, Chapter 1, .3-24. 1994.
- [17] Tabor, H., “Solar desalination: a technology for peace” *Sun World*, .21. 20-22, 1997.
- [18] Trombe, F. and Foex, M., “Utilisation of solar still energy for simultaneous distillation of brackish water and air conditioning of hot houses in arid regions” *U.N. Conf. On new sources of energy*, Paper 35/S/64 Revised, Rome: 11p. 1961.
- [19] Bettaque, R..Vefahren “zum Betreiben von Gewachshausern mit salzwasser” *Der Tropenlandwirt, Beiheft 10, Witzenhausser Hochschulwoche*, 1977.
- [20] Selsuk, M.K. and Tran,V.V., “Solar stills for agriculture purposes.,” *Solar energy*., 17. 103-109, 1975.

- [21] Kudish, A.I., Water desalination; Solar energy in Agriculture, B.F.parker. Elsevier Science Publishers B.V., Netherlands., 1991.
- [22] Selsuk, M.K. and Tran,V.V, “ An overview of solar still greenhouse performance and optimal design studies”, Conf. on heliothermique and development, 2, 349, 1975.
- [23] Strauch, K.H., “A closed system greenhouse with integrated solar desalination for arid regions” Acta Horticulturae, 170, 29-36, 1985.
- [24] Dument, M. and de Cachard, M., “A greenhouse with solar distillation” Platiculture, 61. 11-24, 1984.
- [25] Chaibi, M.T. and T. Jilar.T., “System design, operation and performance of roof integrated desalination in greenhouses” Solar Energy Journal, 76 (5), 545-561, 2004.
- [26] Fatih, H.E.S., “Transient analysis of naturally ventilated greenhouse with built-in solar still and waste heat and mass recovery system,” Energy conservation and management, .35(11). 955-965. 1994.
- [27] Hassan, M.S., Toyoma,S., Murase,K. and Wahhab, M.A., “Multi-effect solar still for agricultural purposes in hot climate” Desalination, 71. 347-353. 1989.
- [28] Widegren, M. “Condensation irrigation, desalination irrigation system”, Master thesis 1986:002E, Lulea University of technology, Sweden. 1986.
- [29] Nordell, B., “Design of climate system for greenhouse in the north of Sweden”, Report Lulea University of Technology, Sweden. 1987.
- [30] Ruess, K. and Federer, H., “Using sea water for irrigation” The Agricultural Engineer, 45 (4). 116-117. 1990.
- [31] Gustafsson, AM. and Lindblom, J. “Underground condensation of humid air – a solar driven system for irrigation and drinking water production”, Master thesis 2001: 140 CIV. Lulea University of Technology, Sweden, 2001.

-
- [32] Nordell, B. and Lindblom, J., “water production by underground condensation of humid air”, *Desalination Journal*, 189. 248-260. 2006.
- [33] Zaragoza G, Buchholz M, Jochum P, Pérez-Parra J “Watergy project: towards a rational use of water in greenhouse agriculture and sustainable architecture,” *Desalination* ,211. 296-303, 2007.